

# Neue Energie für Thüringen

Ergebnisse der Potenzialanalyse



LANGFASSUNG

## Haftungsausschluss

Trotz sorgfältiger Prüfung sämtlicher Inhalte in diesem Werk sind Unschärfen in der Datenbasis und der Methodik nicht auszuschließen. Die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität des Inhalts ist daher ohne Gewähr. Eine Haftung der Herausgeber und Autoren auch für die mit dem Inhalt verbundenen potenziellen Folgen, insbesondere wirtschaftliche Verwertbarkeit und Vermögensschäden, ist ausgeschlossen. Der Inhalt dieser Studie gibt ausschließlich die Meinung der Autoren wieder.

## Impressum

### Auftraggeber

Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie  
Postfach 90 02 25  
99105 Erfurt  
Fax 03 61 – 3 74 23 88  
mailbox@tmwta.thueringen.de  
www.thueringer-wirtschaftsministerium.de

Langfassung des Thüringer Bestands- und  
Potenzialatlas für erneuerbare Energien

### Auftragnehmer

Fachhochschule Nordhausen EKP Energie-Klima-Plan GmbH

### Bearbeiter

#### *FH Nordhausen*

Prof. Dr.-Ing. Joachim Fischer  
Prof. Dr.-Ing. Dieter D. Genske  
Dipl.-Ing. Thomas Jödecke  
Dipl.-Ing. Steffi Klenner  
B.Eng. Maria Nuschke

#### *EKP Energie-Klima-Plan GmbH*

Dipl.-Geogr. Ariane Ruff  
M.Eng. Matthias Schwarze

### In Zusammenarbeit mit

*JenaGeos®* Ingenieurbüro GmbH  
Dr. Kersten Roselt  
Dipl.-Ing. Charlotte Rauschenbach



# Inhalt

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| <b>Abbildungsverzeichnis</b> | i     |
| <b>Kartenverzeichnis</b>     | vii   |
| <b>Tabellenverzeichnis</b>   | xi    |
| <b>Abkürzungsverzeichnis</b> | xv    |
| <b>Glossar</b>               | xviii |
| <b>Formelverzeichnis</b>     | xx    |
| <b>Zusammenfassung</b>       | xxii  |

## Teil 1 – Einführung

|          |                                     |    |
|----------|-------------------------------------|----|
| <b>1</b> | <b>Veranlassung</b>                 | 1  |
| <b>2</b> | <b>Zielsetzung</b>                  | 2  |
| <b>3</b> | <b>Rahmenbedingungen</b>            | 4  |
| 3.1      | Zusammenfassung                     | 4  |
| 3.2      | Energiepolitische Rahmenbedingungen | 4  |
| 3.3      | Naturräumliche Voraussetzungen      | 5  |
| 3.3.1    | Geologie                            | 5  |
| 3.3.2    | Naturräume                          | 6  |
| 3.3.3    | Klimatische Bedingungen             | 6  |
| 3.3.4    | Fließgewässer                       | 8  |
| 3.4      | Siedlungsstruktur                   | 8  |
| 3.4.1    | Siedlungsentwicklung                | 8  |
| 3.4.2    | Siedlungsraumtypen                  | 9  |
| 3.5      | Demographische Entwicklung          | 10 |
| 3.6      | Energieinfrastruktur in Thüringen   | 12 |

## Teil 2 – Methodik

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>4</b> | <b>Zukunftsszenarien</b>                        | <b>13</b> |
| 4.1      | Zusammenfassung                                 | 13        |
| 4.2      | Referenzszenario                                | 13        |
| 4.3      | Ambitioniertes Szenario                         | 13        |
| 4.4      | Exzellenzszenario                               | 14        |
| 4.5      | Stellschrauben                                  | 15        |
| <br>     |   |           |
| <b>5</b> | <b>Energie -Grundlagen</b>                      | <b>19</b> |
| 5.1      | Zusammenfassung                                 | 19        |
| 5.2      | Energiesektoren und Energieformen               | 19        |
| 5.3      | Energieflächen                                  | 20        |
| 5.3.1    | Energie- und Flächenpotenziale                  | 20        |
| 5.3.2    | Energetische Homogenbereiche                    | 23        |
| 5.3.3    | Energiebezugsflächen                            | 27        |
| 5.4      | Energieeffizienz und Energiesuffizienz          | 28        |
| 5.4.1    | Heizwärme                                       | 28        |
| 5.4.2    | Warmwasser und Prozesswärme                     | 31        |
| 5.4.3    | Strom   | 33        |
| 5.4.4    | Treibstoffe                                     | 36        |
| 5.5      | Möglichkeiten der Nutzung erneuerbarer Energien | 38        |
| 5.5.1    | Solarenergie                                    | 38        |
| 5.5.2    | Windkraft                                       | 40        |
| 5.5.3    | Wasserkraft                                     | 41        |
| 5.5.4    | Umgebungswärme                                  | 42        |
| 5.5.5    | Abwasserwärme                                   | 44        |
| 5.5.6    | Tiefengeothermie                                | 46        |

|       |                  |    |
|-------|------------------|----|
| 5.5.7 | Bioenergie       | 47 |
| 5.6   | Einführungsraten | 48 |

## Teil 3 – Ergebnisse

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>6</b> | <b>Energiebedarf in Thüringen</b>                                    | 51  |
| 6.1      | Zusammenfassung  | 51  |
| 6.2      | Aktueller Energiebedarf  | 51  |
| 6.3      | Zukünftiger Energiebedarf  | 55  |
| <b>7</b> | <b>Erneuerbare Energien in Thüringen</b>                             | 60  |
| 7.1      | Zusammenfassung  | 60  |
| 7.2      | Aktueller Stand der Nutzung erneuerbarer Energien in Thüringen       | 61  |
| 7.2.1    | Rahmenbedingungen  | 61  |
| 7.2.2    | Erneuerbare Gesamterträge  | 62  |
| 7.2.3    | Vergleich der Nutzung erneuerbarer Energien auf Planungsregionsebene | 64  |
| 7.2.4    | Nutzung erneuerbarer Energien in Thüringen im Bundesländervergleich  | 76  |
| 7.3      | Potenziale erneuerbarer Energien                                     | 83  |
| 7.3.1    | Rahmenbedingungen  | 83  |
| 7.3.2    | Erneuerbare Gesamtpotenziale   | 84  |
| 7.3.3    | Anteil der einzelnen regenerativen Energieoptionen                   | 93  |
| 7.3.4    | Entwicklung der regenerativen Selbstversorgung in Thüringen          | 99  |
| 7.3.4.1  | Wärme  | 99  |
| 7.3.4.2  | Strom  | 101 |
| 7.3.4.3  | Treibstoffe  | 102 |
| 7.3.5    | Vergleich der Nutzung erneuerbarer Energien auf Planungsregionsebene | 103 |
| <b>8</b> | <b>Regional-ökonomische Effekte</b>                                  | 107 |
| 8.1      | Methodische Grundlagen   | 107 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 8.2   | Betrachtete Technologielinien                         | 109 |
| 8.3   | Grenzen des Modellansatzes                            | 110 |
| 8.4   | Ökonomische Effekte                                   | 111 |
| 8.4.1 | Einmalige Wertschöpfungseffekte                       | 111 |
| 8.4.2 | Jährliche Wertschöpfungseffekte                       | 114 |
| 8.5   | Arbeitsplatzeffekte                                   | 117 |
| 8.5.1 | Arbeitsplatzeffekte im Bereich der Anlagenherstellung | 118 |
| 8.5.2 | Arbeitsplatzeffekte durch Wartung und Anlagenbetrieb  | 121 |
| 8.5.3 | Arbeitsplatzeffekte in der Land- und Forstwirtschaft  | 123 |
| 8.6   | Zusammenfassung                                       | 126 |
| <br>  |   |     |
| 9     | <b>Handlungsempfehlungen</b>                          | 127 |

## **Anhang**

|           |  |
|-----------|--|
| <b>A</b>  | <b>Kartenwerk</b>                                |
| <b>A1</b> | <b>Biomassedefinitionen</b>                      |
| <b>A2</b> | <b>Energiebedarfe in allen Szenarien</b>         |
| <b>A3</b> | <b>Energiepotenziale in allen Szenarien</b>      |
| <b>A4</b> | <b>Selbstversorgungsgrade in allen Szenarien</b> |

## **Literatur**

## Abbildungsverzeichnis

|         |  |    |
|---------|--|----|
| Abb. 1  | Für die Modellierung angenommene Temperatursteigerung (UBA 2008:91).....   | 7  |
| Abb. 2  | Demographische Entwicklung in Thüringen und in den vier Planungsregionen<br>(Daten nach Thüringer Landesamt für Statistik 2010, <a href="http://www.tls.thueringen.de">www.tls.thueringen.de</a> ).....  | 11 |
| Abb. 3  | Relative Zunahme des Pro-Kopf-Wohnflächenbedarfs in Ostdeutschland nach empirica (2005) bis 2025.<br>Es wird ein maximaler Pro-Kopf-Wohnflächenbedarf von 60 Quadratmetern bis zum Prognosehorizont<br>angenommen .....  | 11 |
| Abb. 4  | Struktur der Szenarien (eigene Darstellung).....   | 15 |
| Abb. 5  | Die Unterteilung der Energiesektoren (eigene Darstellung) .....  | 20 |
| Abb. 6  | Die Energiebedarfsmatrix (eigene Darstellung).....   | 20 |
| Abb. 7  | Raumbedarf zur Erzeugung einer Gigawattstunde Strom pro Jahr und Stromgestehungskosten heute<br>und 2050 (BBR/BBSR & BMVBS 2009b, BMU 2010, eigene Untersuchungen). Die aktuellen und die<br>für 2050 erwarteten Gestehungskosten markieren die obere und untere Begrenzung der dargestellten<br>Rechtecke, die schwarzen Dreiecke die Kostenentwicklung (Preisbasis 2009 bei 6 Prozent realem Zinssatz,<br>Basisszenario A der Leitstudie 2010 des BMU). Das Spektrum der Flächeneffizienz wird durch die linke und<br>rechte Begrenzung markiert. Bei der solaren Nutzung werden auch dezentrale Anlagen im urbanen Raum<br>betrachtet (großer Flächenbedarf)..... | 22 |
| Abb. 8  | Raumbedarf zur Erzeugung einer Gigawattstunde Wärme pro Jahr und Wärmegestehungskosten heute<br>und 2050 (BBR/BBSR & BMVBS 2009b, BMU 2010, eigene Untersuchungen). Die aktuellen und die<br>für 2050 erwarteten Gestehungskosten markieren die obere und untere Begrenzung der dargestellten<br>Rechtecke, die schwarzen Dreiecke die Kostenentwicklung (Preisbasis 2009 bei 6 Prozent realem Zinssatz,<br>Basisszenario A der Leitstudie 2010 des BMU). Das Spektrum der Flächeneffizienz wird durch die linke und<br>rechte Begrenzung markiert. Bei der solaren Nutzung werden auch dezentrale Anlagen im urbanen Raum<br>betrachtet (großer Flächenbedarf)..... | 22 |
| Abb. 9  | Beispielhafte Darstellung der stadt- und landschaftsraumtypischen Einteilung eines Modellraumes<br>(Schmalkalden).....   | 23 |
| Abb. 10 | Aufteilung der bebauten Fläche Thüringens in Siedlungsraumtypen (eigene Berechnung) .....  | 25 |
| Abb. 11 | Relative Verteilung der Siedlungs- und Landschaftsräume (eigene Berechnung) .....  | 26 |
| Abb. 12 | Heizenergiestandards (WSVO, EnEV) in Deutschland über die Zeit. Bei logarithmischer Ordinate lassen sich<br>die zukünftigen Heizenergiestandards (ab 2010) durch eine Gerade extrapolieren. Es wird angenommen,<br>dass der Heizwärmebedarf nicht unter 15 Kilowattstunden pro Jahr sinkt (eigene Darstellung) .....   | 29 |
| Abb. 13 | Abnahme des Heizwärmebedarfs im Referenzszenario sowie im ambitionierten Szenario und<br>Exzellenzszenario mit angehobener Sanierungsrate in ausgewählten Siedlungsraumtypen (eigene<br>Darstellung) .....   | 31 |
| Abb. 14 | Veränderung des Warmwasserbedarfs (Endenergie) im Sektor Wohnen (Siedlungsraumtypen I bis IX,<br>Referenz- und Innovationsszenario nach Prognos & Öko-Institut 2009).....  | 32 |
| Abb. 15 | Veränderung des Prozesswärmebedarfs (Endenergie) im Sektor Gewerbe-Handel-Dienstleistungen<br>(Siedlungsraumtypen XI, X-M, Referenz- und Innovationsszenario nach Prognos & Öko-Institut 2009) ....  | 32 |
| Abb. 16 | Veränderung des Prozesswärmebedarfs (Endenergie) im Sektor verarbeitendes Gewerbe und Industrie  |    |

|         |  |    |
|---------|--|----|
|         | (Siedlungsraumtyp X, Referenz- und Innovationsszenario nach Prognos & Öko-Institut 2009).....  | 33 |
| Abb. 17 | Veränderung des Strombedarfs (Endenergie) im Sektor Wohnen (Siedlungsraumtypen I bis IX, Referenz- und Innovationsszenario nach Prognos & Öko-Institut 2009).....                                    | 34 |
| Abb. 18 | Veränderung des Strombedarfs (Endenergie) im Sektor Gewerbe-Handel-Dienstleistungen (Siedlungsraumtypen XI, X-M, Referenz- und Innovationsszenario nach Prognos & Öko-Institut 2009).....            | 34 |
| Abb. 19 | Veränderung des Strombedarfs (Endenergie) im Sektor verarbeitendes Gewerbe und Industrie (Siedlungsraumtyp X, Referenz- und Innovationsszenario nach Prognos & Öko-Institut 2009).....               | 35 |
| Abb. 20 | Veränderung des Strombedarfs (Endenergie) im Sektor Mobilität (Referenz- und Innovationsszenario nach Prognos & Öko-Institut 2009) .....   | 35 |
| Abb. 21 | Veränderung des Treibstoffbedarfs (Endenergie) im Sektor Gewerbe-Handel-Dienstleistungen (Siedlungsraumtypen XI, X-M, Referenz- und Innovationsszenario nach Prognos & Öko-Institut 2009) .....      | 36 |
| Abb. 22 | Veränderung des Treibstoffbedarfs (Endenergie) im Sektor verarbeitendes Gewerbe und Industrie (Siedlungsraumtyp X, Referenz- und Innovationsszenario nach Prognos & Öko-Institut 2009) .....         | 37 |
| Abb. 23 | Veränderung des Treibstoffbedarfs (Endenergie) im Sektor Mobilität (Referenz- und Innovationsszenario nach Prognos & Öko-Institut 2009) .....  | 37 |
| Abb. 24 | Maximale Dichte vertikaler Erdwärmesonden bei einem Abstand von mindestens 16 Metern. Die in Thüringen (für die Szenarien) angenommene Dichte entspricht der Hälfte der hier dargestellten Dichte... | 43 |
| Abb. 25 | Bau einer Abwasserwärmerückgewinnung in gebäudenahen Schächten (FEKA2009) .....  | 45 |
| Abb. 26 | Hauptgruppen und Unterbereiche für die Ermittlung der Biomassepotenziale in Thüringen (eigene Darstellung).....  | 48 |
| Abb. 27 | Zunahme des photovoltaischen Potenzials in den drei Szenarien bis zum Prognosehorizont (Dach- und Fassadenanlagen) (nach BMU 2010 und eigenen Berechnungen).....                                     | 49 |
| Abb. 28 | Zunahme des solarthermischen Potenzials in den drei Szenarien bis zum Prognosehorizont (Dach- und Fassadenanlagen) (nach BMU 2010 und eigenen Berechnungen) .....                                    | 49 |
| Abb. 29 | Zunahme der Abwasserwärmerückgewinnung in den drei Szenarien bis zum Prognosehorizont (nach BMU 2010 und eigenen Berechnungen).....  | 50 |
| Abb. 30 | Zunahme des flachen geothermischen Potenzials (Erdwärmesonden) in den drei Szenarien bis zum Prognosehorizont (nach BMU 2010 und eigenen Berechnungen) .....   | 50 |
| Abb. 31 | Relativer Endenergiebedarf nach Verbraucharten 2010 in Thüringen (nach TLS 2011, TMLFUN 2010).....   | 54 |
| Abb. 32 | Relativer Endenergiebedarf nach Verbrauchssektoren 2010 (nach TLS 2011, TMLFUN 2010).....  | 55 |
| Abb. 33 | Absoluter Endenergiebedarf aller Energiesektoren im Referenzszenario nach Nutzungsart in Thüringen (2010) (eigene Darstellung).....  | 56 |
| Abb. 34 | Absoluter Endenergiebedarf aller Energiesektoren im Referenzszenario nach Nutzungsart in Thüringen (2050) (eigene Darstellung).....  | 56 |
| Abb. 35 | Der absolute Stromverbrauch nimmt zu, sobald mehr Wärmepumpenstrom benötigt wird. Dies zeigt die   |    |

Veränderung von Szenario R (Referenz) zu AA (ambitioniert) und EA (Exzellenz). Durch Effizienzmaßnahmen kann der Stromverbrauch noch deutlich gesenkt werden (Szenario AB und EB) (eigene Darstellung)..... 59

|         |  |    |
|---------|--|----|
| Abb. 36 | Optionen regenerativer Energieerzeugung und Formen der Nutzung (eigene Darstellung) .....  | 61 |
| Abb. 37 | Relative Verteilung der erneuerbaren Wärmebereitstellung (Endenergie) in Thüringen 2010 (eigene Darstellung) .....   | 64 |
| Abb. 38 | Relative Verteilung der erneuerbaren Stromerzeugung (Endenergie) in Thüringen 2010 (eigene Darstellung) .....  | 64 |
| Abb. 39 | Installierte PV-Leistung in Kilowattpeak bzw. Wattpeak pro Einwohner in den vier Planungsregionen Thüringens (eigene Darstellung) .....  | 65 |
| Abb. 40 | Installierte solarthermische Kollektorfläche in Quadratmeter bzw. Quadratmeter pro Einwohner in den vier Planungsregionen (eigene Darstellung) .....                                   | 67 |
| Abb. 41 | Installierte Windenergieleistung in Kilowatt bzw. Kilowatt pro Quadratkilometer in den vier Planungsregionen Thüringens (eigene Darstellung).....                                      | 69 |
| Abb. 42 | Verteilung der Rauchschnsteine in Thüringen, Gesamtzahl: 226.780 (eigene Darstellung).....   | 72 |
| Abb. 43 | Stand der Bioenergienutzung in Thüringen, Endenergieerzeugung 8.272,5 Gigawattstunden, Zahlen in Klammern: Anlagenbestand (TLL 2010, eigene Erhebungen und Berechnungen).....          | 75 |
| Abb. 44 | Installierte elektrische Leistung aus Biomasse in Kilowatt bzw. Kilowatt pro Quadratkilometer in den Planungsregionen (eigene Darstellung) .....                                       | 75 |
| Abb. 45 | Prozentualer Anteil der einzelnen Bundesländer an der EEG-Stromerzeugung im Jahr 2009 (BDEW 2010:13).....  | 77 |
| Abb. 46 | Flächenspezifischer Anteil der Bundesländer an der EEG- Stromerzeugung im Jahr 2009 (Bundesnetzagentur 2011, eigene Berechnungen).....   | 77 |
| Abb. 47 | Zunahme des Anteils erneuerbarer Energien (ohne Abfall) an der Stromerzeugung in den Bundesländern von 2004 bis 2008 (DIW 2010) .....  | 78 |
| Abb. 48 | Installierte Leistung von EEG vergüteten Windenergieanlagen nach Bundesland im Jahr 2010 (in Megawatt) (Molly 2011).....   | 79 |
| Abb. 49 | Spezifische installierte Leistung von EEG vergüteten Windenergieanlagen nach Bundesland im Jahr 2010 (in Megawatt) bezogen auf die Landesfläche (Molly 2011), eigene Berechnungen..... | 79 |
| Abb. 50 | Installierte PV-Leistung nach Bundesländern im Jahr 2010 (in Megawattpeak) (Photon 2011).<br>*(297 Megawatt: Stand Mai 2011, siehe Tabelle 20) .....                                   | 80 |
| Abb. 51 | Anteil der neu installierten Leistung in Megawattpeak nach Bundesländern auf dem Photovoltaik-Markt (BSW-Solar 2011:7) .....   | 81 |
| Abb. 52 | Auf Einwohnerzahlen bezogene installierte PV-Leistung, 2010 (in Megawattpeak) (Photon 2011) .....  | 81 |
| Abb. 53 | Installierte Leistung von EEG vergüteten Biomasseanlagen nach Bundesland im Jahr 2008 (in Megawatt) (Bundesnetzagentur 2011) .....   | 82 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| Abb. 54 | Installierte Leistung von EEG vergüteten Biomasseanlagen bezogen auf die Landesfläche im Jahr 2008 (in Kilowatt pro Quadratkilometer) (Bundesnetzagentur 2011, eigene Berechnungen).....                                     | 83  |
| Abb. 55 | Aktuelle erneuerbare Endenergieerträge (2010) in Thüringen (eigene Darstellung) .....  | 85  |
| Abb. 56 | Erneuerbare Endenergieerträge 2050 im Referenzszenario in Thüringen (eigene Darstellung).....  | 85  |
| Abb. 57 | Relative Verteilung der erneuerbaren Wärmebereitstellung (Endenergie) in Thüringen im Referenzszenario 2050 (eigene Darstellung) .....   | 86  |
| Abb. 58 | Relative Verteilung der erneuerbaren Stromerzeugung (Endenergie) in Thüringen im Referenzszenario 2050 (eigene Darstellung) .....  | 86  |
| Abb. 59 | Wärmebedarf und die regenerative Wärmebereitstellung in Thüringen im Referenzszenario (eigene Darstellung) .....   | 100 |
| Abb. 60 | Wärmebedarf und die regenerative Wärmebereitstellung in Thüringen im ambitionierten Szenario A (keine Effizienzsteigerung) und B (mit Effizienzsteigerung) (eigene Darstellung).....   | 100 |
| Abb. 61 | Strombedarf und regenerative Stromerzeugung in Thüringen im Referenzszenario (keine Effizienzsteigerung) (eigene Darstellung).....   | 102 |
| Abb. 62 | Strombedarf und die regenerative Stromerzeugung in Thüringen im ambitionierten Szenario A (keine Effizienzsteigerung) und B (mit Effizienzsteigerung) (eigene Darstellung).....  | 102 |
| Abb. 63 | Entwicklung der regenerativen Selbstversorgungsgrade im Freistaat Thüringen im Referenzszenario (eigene Darstellung).....  | 103 |
| Abb. 64 | Entwicklung der regenerativen Selbstversorgungsgrade in der Planungsregion Mittelthüringen im Referenzszenario (eigene Darstellung).....   | 104 |
| Abb. 65 | Entwicklung der regenerativen Selbstversorgungsgrade in der Planungsregion Nordthüringen im Referenzszenario (eigene Darstellung).....   | 105 |
| Abb. 66 | Entwicklung der regenerativen Selbstversorgungsgrade in der Planungsregion Ostthüringen im Referenzszenario (eigene Darstellung).....  | 105 |
| Abb. 67 | Entwicklung der regenerativen Selbstversorgungsgrade in der Planungsregion Südwestthüringen im Referenzszenario (eigene Darstellung) .....   | 106 |
| Abb. 68 | Regionalökonomische einmalige Effekte beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Nordthüringen (Hirschl 2010, eigene Berechnungen) .....   | 112 |
| Abb. 69 | Regionalökonomische einmalige Effekte beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Mittelthüringen (Hirschl 2010, eigene Berechnungen) ..... | 112 |
| Abb. 70 | Regionalökonomische einmalige Effekte beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Ostthüringen (Hirschl 2010, eigene Berechnungen) .....    | 113 |
| Abb. 71 | Regionalökonomische einmalige Effekte beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Südwestthüringen (Hirschl 2010, eigene                    |     |



|  |     |
|--|-----|
| Berechnungen) .....  | 113 |
| Abb. 72 Regionalökonomische jährliche Effekte beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Nordthüringen (Hirschl 2010, eigene Berechnungen) .....                           | 115 |
| Abb. 73 Regionalökonomische jährliche Effekte beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Mittelthüringen (Hirschl 2010, eigene Berechnungen) .....                         | 116 |
| Abb. 74 Regionalökonomische jährliche Effekte beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Ostthüringen (Hirschl 2010, eigene Berechnungen) .....                            | 116 |
| Abb. 75 Regionalökonomische jährliche Effekte beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Südwestthüringen (Hirschl 2010, eigene Berechnungen) .....                        | 117 |
| Abb. 76 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen in der Anlagenproduktion beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Nordthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen) .....          | 119 |
| Abb. 77 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen in der Anlagenproduktion beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Mittelthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen) .....        | 119 |
| Abb. 78 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen in der Anlagenproduktion beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Ostthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen) .....           | 120 |
| Abb. 79 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen in der Anlagenproduktion beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Südwestthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen) .....       | 120 |
| Abb. 80 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen im Bereich Wartung und Betrieb beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Nordthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen) .....    | 121 |
| Abb. 81 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen im Bereich Wartung und Betrieb beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Mittelthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen) .....  | 122 |
| Abb. 82 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen im Bereich Wartung und Betrieb beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Ostthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen) .....     | 122 |
| Abb. 83 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen im Bereich Wartung und Betrieb beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Südwestthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen) ..... | 123 |
| Abb. 84 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen in der Land- und Forstwirtschaft beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Nordthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen) .....  | 124 |
| Abb. 85 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen in der Land- und Forstwirtschaft beim Ausbau der regenerativen  |     |

|   |       |
|---|-------|
| Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Mittelthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen).....  | 124   |
| Abb. 86 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen in der Land- und Forstwirtschaft beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Ostthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen) .....    | 125   |
| Abb. 87 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen in der Land- und Forstwirtschaft beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Südwestthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen)..... | 125   |
| <br><b>Anhang A3</b>  |       |
| Abb. A3-1 Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) für die Planungsregionen und Thüringen im Referenzszenario .....   | A3-17 |
| Abb. A3-2 Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) für die Planungsregionen und Thüringen im ambitionierten Szenario A/B.....   | A3-17 |
| Abb. A3-3 Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) für die Planungsregionen und Thüringen im Exzellenzszenario A/B.....   | A3-18 |
| Abb. A3-4: Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) für die vier Planungsregionen und Thüringen im Referenzszenario .....  | A3-18 |
| Abb. A3-5 Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) für die vier Planungsregionen und Thüringen im ambitionierten Szenario A/B .....  | A3-19 |
| Abb. A3-6: Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) für die vier Planungsregionen und Thüringen im Exzellenzszenario A/B .....   | A3-19 |
| <br><b>Anhang A4</b>  |       |
| Abb.A4-1 Wärmebedarf und die regenerative Wärmebereitstellung in Thüringen im Exzellenzszenario A (keine Effizienzsteigerung) und B (mit Effizienzsteigerung) .....   | A4-6  |
| Abb.A4-2 Strombedarf und die regenerative Strombereitstellung in Thüringen im Exzellenzszenario A (keine Effizienzsteigerung) und B (mit Effizienzsteigerung) .....   | A4-6  |

## Kartenverzeichnis

|   |      |
|---|------|
| Karte 1 Landkreise und kreisfreie Städte in Thüringen.....                              | A-2  |
| Karte 2 Einteilung des Freistaates Thüringen in Siedlungsraumtypen.....                 | A-2  |
| Karte 3 Windgeschwindigkeitsverteilung in Thüringen in 120m über NN .....               | A-3  |
| Karte 4 Globalstrahlung in Thüringen.....   | A-3  |
| Karte 5 Petrothermale Eignungsgebiete in Thüringen .....                                | A-4  |
| Karte 6 Größere Fließgewässer in Thüringen.....   | A-4  |
| Karte 7 Die Naturräume Thüringens.....  | A-5  |
| Karte 8 Aktueller Strombedarf auf Gemeindeebene .....                                   | A-6  |
| Karte 9 Strombedarf im Referenzszenario auf Gemeindeebene im Jahr 2020.....             | A-6  |
| Karte 10 Strombedarf im Ambitionierten Szenario B auf Gemeindeebene im Jahr 2020.....   | A-7  |
| Karte 11 Strombedarf im Exzellenzszenario B auf Gemeindeebene im Jahr 2050.....         | A-7  |
| Karte 12 Aktueller Strombedarf auf Landkreisebene .....                                 | A-8  |
| Karte 13 Strombedarf im Referenzszenario auf Landkreisebene im Jahr 2020.....           | A-8  |
| Karte 14 Strombedarf im Ambitionierten Szenario B auf Landkreisebene im Jahr 2020 ..... | A-9  |
| Karte 15 Strombedarf im Exzellenzszenario B auf Landkreisebene im Jahr 2050 .....       | A-9  |
| Karte 16 Aktueller Heizwärmebedarf auf Gemeindeebene .....                              | A-10 |
| Karte 17 Heizwärmebedarf im Referenzszenario auf Gemeindeebene im Jahr 2020.....        | A-10 |
| Karte 18 Heizwärmebedarf im Ambitionierten Szenario B auf Gemeindeebene (2020) .....    | A-11 |
| Karte 19 Heizwärmebedarf im Exzellenzszenario B auf Gemeindeebene im Jahr 2050 .....    | A-11 |
| Karte 20 Aktueller Heizwärmebedarf auf Landkreisebene .....                             | A-12 |
| Karte 21 Heizwärmebedarf im Referenzszenario auf Landkreisebene im Jahr 2020 .....      | A-12 |
| Karte 22 Heizwärmebedarf im Ambitionierten Szenario B auf Landkreisebene (2020).....    | A-13 |
| Karte 23 Heizwärmebedarf im Exzellenzszenario B auf Landkreisebene im Jahr 2050.....    | A-13 |
| Karte 24 Aktueller Warmwasserbedarf auf Gemeindeebene .....                             | A-14 |
| Karte 25 Warmwasserbedarf im Referenzszenario auf Gemeindeebene im Jahr 2020.....       | A-14 |
| Karte 26 Warmwasserbedarf im Ambitionierten Szenario B auf Gemeindeebene (2020) .....   | A-15 |

|  |      |
|--|------|
| Karte 27 Warmwasserbedarf im Exzellenzscenario B auf Gemeindeebene im Jahr 2050 .....      | A-15 |
| Karte 28 Aktueller Warmwasserbedarf auf Landkreisebene .....                               | A-16 |
| Karte 29 Warmwasserbedarf im Referenzscenario auf Landkreisebene im Jahr 2020 .....        | A-16 |
| Karte 30 Warmwasserbedarf im Ambitionierten Szenario B auf Landkreisebene (2020) .....     | A-17 |
| Karte 31 Warmwasserbedarf im Exzellenzscenario B auf Landkreisebene im Jahr 2050 .....     | A-17 |
| Karte 32 Aktueller Stand der Nutzung – Photovoltaik auf Gemeindeebene .....                | A-18 |
| Karte 33 Potenziale der Photovoltaik im Referenzscenario auf Gemeindeebene (2020) .....    | A-18 |
| Karte 34 Potenziale der Photovoltaik im Amb. Szenario B auf Gemeindeebene (2020) .....     | A-19 |
| Karte 35 Potenziale der Photovoltaik im Exzellenzscenario B auf Gemeindeebene (2050).....  | A-19 |
| Karte 36 Aktueller Stand der Nutzung – Photovoltaik auf Landkreisebene .....               | A-20 |
| Karte 37 Potenziale der Photovoltaik im Referenzscenario auf Landkreisebene (2020) .....   | A-20 |
| Karte 38 Potenziale der Photovoltaik im Amb. Szenario B auf Landkreisebene (2020).....     | A-21 |
| Karte 39 Potenziale der Photovoltaik im Exzellenzscenario B auf Landkreisebene (2050)..... | A-21 |
| Karte 40 Aktueller Stand der Nutzung – Windenergie auf Gemeindeebene .....                 | A-22 |
| Karte 41 Potenziale der Windenergie im Referenzscenario auf Gemeindeebene (2020) .....     | A-22 |
| Karte 42 Potenziale der Windenergie im Amb. Szenario B auf Gemeindeebene (2020).....       | A-23 |
| Karte 43 Potenziale der Windenergie im Exzellenzscenario B auf Gemeindeebene (2050) .....  | A-23 |
| Karte 44 Aktueller Stand der Nutzung – Windenergie auf Landkreisebene.....                 | A-24 |
| Karte 45 Potenziale der Windenergie im Referenzscenario auf Landkreisebene (2020).....     | A-24 |
| Karte 46 Potenziale der Windenergie im Amb. Szenario B auf Landkreisebene (2020).....      | A-25 |
| Karte 47 Potenziale der Windenergie im Exzellenzscenario B auf Landkreisebene (2050) ..... | A-25 |
| Karte 48 Aktueller Stand der Nutzung – Wasserkraft auf Gemeindeebene .....                 | A-26 |
| Karte 49 Potenziale der Wasserkraft im Referenzscenario auf Gemeindeebene (2020).....      | A-26 |
| Karte 50 Potenziale der Wasserkraft im Amb. Szenario B auf Gemeindeebene (2020).....       | A-27 |
| Karte 51 Potenziale der Wasserkraft im Exzellenzscenario B auf Gemeindeebene (2050) .....  | A-27 |
| Karte 52 Aktueller Stand der Nutzung – Wasserkraft auf Landkreisebene.....                 | A-28 |
| Karte 53 Potenziale der Wasserkraft im Referenzscenario auf Landkreisebene (2020) .....    | A-28 |
| Karte 54 Potenziale der Wasserkraft im Amb. Szenario B auf Landkreisebene (2020) .....     | A-29 |

|   |      |
|---|------|
| Karte 55 Potenziale der Wasserkraft im Exzellenzscenario B auf Landkreisebene (2050) .....    | A-29 |
| Karte 56 Aktueller Stand der Nutzung – Biomasse (elektrisch) auf Gemeindeebene.....           | A-30 |
| Karte 57 Potenziale der Biomasse (elek.) im Referenzscenario auf Gemeindeebene (2020).....    | A-30 |
| Karte 58 Potenziale der Biomasse (elek.) im Amb. Szenario B auf Gemeindeebene (2020).....     | A-31 |
| Karte 59 Potenziale der Biomasse (elek.) im Ex.-szenario B auf Landkreisebene (2050) .....    | A-31 |
| Karte 60 Aktueller Stand der Nutzung – Biomasse (elektrisch) auf Landkreisebene.....          | A-32 |
| Karte 61 Potenziale der Biomasse (elek.) im Referenzscenario auf Landkreisebene (2020).....   | A-32 |
| Karte 62 Potenziale der Biomasse (elek.) im Amb. Szenario B auf Landkreisebene (2020) .....   | A-33 |
| Karte 63 Potenziale der Biomasse (elek.) im Ex.-szenario B auf Landkreisebene (2050) .....    | A-33 |
| Karte 64 Aktueller Stand der Nutzung – Tiefengeothermie (elektrisch) auf Gemeindeebene .....  | A-34 |
| Karte 65 Potenziale der Tiefengeo. (elek.) im Ref.-szenario auf Gemeindeebene (2020) .....    | A-34 |
| Karte 66 Potenziale der Tiefengeo. (elek.) im Amb. Szenario B auf Gemeindeebene (2020).....   | A-35 |
| Karte 67 Potenziale der Tiefengeo. (elek.) im Ex.-szenario B auf Landkreisebene (2050).....   | A-35 |
| Karte 68 Aktueller Stand der Nutzung – Tiefengeothermie (elektrisch) auf Landkreisebene ..... | A-36 |
| Karte 69 Potenziale der Tiefengeo. (elek.) im Ref.-szenario auf Landkreisebene (2020) .....   | A-36 |
| Karte 70 Potenziale der Tiefengeo. (elek.) im Amb. Szenario B auf Landkreisebene (2020).....  | A-37 |
| Karte 71 Potenziale der Tiefengeo. (elek.) im Ex.-szenario B auf Landkreisebene (2050) .....  | A-37 |
| Karte 72 Aktueller Stand der Nutzung – Solarthermie auf Gemeindeebene.....                    | A-38 |
| Karte 73 Potenziale der Solarthermie im Referenzscenario auf Gemeindeebene (2020) .....       | A-38 |
| Karte 74 Potenziale der Solarthermie im Amb. Szenario B auf Gemeindeebene (2020).....         | A-39 |
| Karte 75 Potenziale der Solarthermie im Exzellenzscenario B auf Landkreisebene (2050).....    | A-39 |
| Karte 76 Aktueller Stand der Nutzung – Solarthermie auf Landkreisebene.....                   | A-40 |
| Karte 77 Potenziale der Solarthermie im Referenzscenario auf Landkreisebene (2020) .....      | A-40 |
| Karte 78 Potenziale der Solarthermie im Amb. Szenario B auf Landkreisebene (2020) .....       | A-41 |
| Karte 79 Potenziale der Solarthermie im Exzellenzscenario B auf Landkreisebene (2050).....    | A-41 |
| Karte 80 Aktueller Stand der Nutzung – Erdwärme auf Gemeindeebene .....                       | A-42 |
| Karte 81 Potenziale der Erdwärme im Referenzscenario auf Gemeindeebene (2020).....            | A-42 |
| Karte 82 Potenziale der Erdwärme im Amb. Szenario B auf Gemeindeebene (2020).....             | A-43 |

|  |      |
|--|------|
| Karte 83 Potenziale der Erdwärme im Exzellenzscenario B auf Landkreisebene (2050) .....  | A-43 |
| Karte 84 Aktueller Stand der Nutzung – Erdwärme auf Landkreisebene.....  | A-44 |
| Karte 85 Potenziale der Erdwärme im Referenzscenario auf Landkreisebene (2020).....  | A-44 |
| Karte 86 Potenziale der Erdwärme im Amb. Szenario B auf Landkreisebene (2020) .....  | A-45 |
| Karte 87 Potenziale der Erdwärme im Exzellenzscenario B auf Landkreisebene (2050) .....  | A-45 |
| Karte 88 Aktueller Stand der Nutzung – Biomasse (thermisch) auf Gemeindeebene .....  | A-46 |
| Karte 89 Potenziale der Biomasse (therm.) im Ref.-szenario auf Gemeindeebene (2020).....   | A-46 |
| Karte 90 Potenziale der Biomasse (therm.) im Amb. Szenario B auf Gemeindeebene (2020).....   | A-47 |
| Karte 91 Potenziale der Biomasse (therm.) im Exzellenzscenario B auf Landkreisebene (2050) .....   | A-47 |
| Karte 92 Aktueller Stand der Nutzung – Biomasse (thermisch) auf Landkreisebene .....   | A-48 |
| Karte 93 Potenziale der Biomasse (therm.) im Referenzscenario auf Landkreisebene (2020).....   | A-48 |
| Karte 94 Potenziale der Biomasse (therm.) im Amb. Szenario B auf Landkreisebene (2020).....  | A-49 |
| Karte 95 Potenziale der Biomasse (therm.) im Exzellenzscenario B auf Landkreisebene (2050) .....   | A-49 |
| Karte 96 Aktueller Stand der Nutzung – Tiefengeothermie (thermisch) auf Gemeindeebene .....  | A-50 |
| Karte 97 Potenziale der Tiefengeo. (therm.) im Referenzscenario auf Gemeindeebene (2020).....  | A-50 |
| Karte 98 Potenziale der Tiefengeo. (therm.) im Amb. Szenario B auf Gemeindeebene (2020).....   | A-51 |
| Karte 99 Potenziale der Tiefengeo. (therm.) im Exzellenzscenario B auf Landkreisebene (2050) .....   | A-51 |
| Karte 100 Aktueller Stand der Nutzung – Tiefengeothermie (thermisch) auf Landkreisebene.....   | A-52 |
| Karte 101 Potenziale der Tiefengeo. (therm.) im Referenzscenario auf Landkreisebene (2020).....  | A-52 |
| Karte 102 Potenziale der Tiefengeo. (therm.) im Amb. Szenario B auf Landkreisebene (2020).....   | A-53 |
| Karte 103 Potenziale der Tiefengeo. (therm.) im Exz.-szenario B auf Landkreisebene (2050) .....  | A-53 |
| Karte 104 Darstellung der regionalökonomischen, einmaligen Effekte beim Ausbau der erneuerbaren<br>Energien auf Landkreisebene bis zum Jahr 2020 ..... | A-54 |
| Karte 105 Darstellung der regionalökonomischen, jährlichen Effekte beim Ausbau der erneuerbaren<br>Energien auf Landkreisebene bis zum Jahr 2020 ..... | A-54 |

## Tabellenverzeichnis

|         |  |    |
|---------|--|----|
| Tab. 1  | Die Siedlungs- und Landschaftsraumtypen in Thüringen .....   | 9  |
| Tab. 2  | Prognostizierte Bevölkerungsentwicklung des Freistaates Thüringen von 2010 bis 2050 (Variante 1).....  | 10 |
| Tab. 3  | Stellschrauben des Energiesystems Thüringen .....  | 16 |
| Tab. 4  | Flächenanteile der im Referenzjahr 2010 ermittelten Stadträume .....   | 24 |
| Tab. 5  | Zuordnung der Gemarkungen in die gewählten Kategorien innerhalb der Landkreise.....  | 26 |
| Tab. 6  | Aktuelle Geschossflächenzahlen und Energiebezugsflächen in den Planungsregionen Thüringens .....   | 27 |
| Tab. 7  | Sanierungsraten (in Prozent) im ambitionierten Szenario und im Exzellenzszenario .....   | 30 |
| Tab. 8  | Solare Gütezahlen für einzelne Siedlungsraumtypen (nach Everding 2004, 2007, angepasst an Thüringen) .....   | 38 |
| Tab. 9  | Mögliche und angenommene Dichten von Erdwärmesonden nach Siedlungsraumtyp .....  | 44 |
| Tab. 10 | Wirtschaftlichkeit der Abwasserwärmerückgewinnung nach Siedlungsraumtypen. In der Modellierung wird die Abwasserwärmerückgewinnung nur berücksichtigt, wenn sie wirtschaftlich erscheint. In diesem Fall sind keine Sonnenkollektoren erforderlich ..... | 46 |
| Tab. 11 | Endenergiebedarf pro Energiebezugsfläche in den Planungsregionen Thüringens .....  | 52 |
| Tab. 12 | Aktueller Endenergiebedarf nach Verbrauchsart .....  | 53 |
| Tab. 13 | Aktueller Endenergiebedarf nach Verbrauchssektoren .....   | 54 |
| Tab. 14 | Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat Thüringen im Referenzszenario .....   | 57 |
| Tab. 15 | Pro-Einwohner-Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat Thüringen im Referenzszenario .....   | 58 |
| Tab. 16 | Aktuelle regenerative Wärmebereitstellung (Endenergie) in den Planungsregionen, in Thüringen und in Deutschland .....  | 62 |
| Tab. 17 | Aktuelle regenerative Stromproduktion (Endenergie) in den Planungsregionen, in Thüringen und in Deutschland .....  | 63 |
| Tab. 18 | Aktuelle regenerative Wärmebereitstellung (Endenergie) pro Einwohner in den Planungsregionen, in Thüringen und in Deutschland.....   | 63 |
| Tab. 19 | Aktuelle regenerative Stromproduktion (Endenergie) pro Einwohner in den Planungsregionen, in Thüringen und in Deutschland .....  | 63 |
| Tab. 20 | Summe der installierten elektrischen Leistungen und Stromerträge aus Photovoltaikanlagen in den Planungsregionen Thüringens (Stand: Mai 2011) .....  | 65 |
| Tab. 21 | Installierte Solarkollektorfläche und daraus resultierender Energieertrag in den Planungsregionen Thüringens .....   | 66 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| Tab. 22 | Im GIS ermittelte Vorrangflächen in Thüringen .....   | 68  |
| Tab. 23 | In Thüringen installierte Windkraftanlagen und Energieertrag bei 1.600 Volllaststunden.....                                     | 68  |
| Tab. 24 | Bestand an oberflächennahen Geothermieranlagen in den Planungsregionen Thüringens.....  | 70  |
| Tab. 25 | Biomasseanlagenbestand in Thüringen.....  | 74  |
| Tab. 26 | Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) für die vier Planungsregionen und Thüringen im Referenzszenario .....              | 87  |
| Tab. 27 | Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) für die vier Planungsregionen und Thüringen im Referenzszenario .....                   | 88  |
| Tab. 28 | Biotreibstoff-Produktion (Endenergie) für die vier Planungsregionen und Thüringen im Referenzszenario .....                     | 89  |
| Tab. 29 | Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) pro Einwohner für die vier Planungsregionen und Thüringen im Referenzszenario..... | 90  |
| Tab. 30 | Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) pro Einwohner für die vier Planungsregionen und Thüringen im Referenzszenario .....     | 91  |
| Tab. 31 | Biotreibstoff-Produktion (Endenergie) pro Einwohner für die vier Planungsregionen und Thüringen im Referenzszenario .....       | 92  |
| Tab. 32 | Kommunale Wertschöpfung aus der Nutzung von PV-Großanlagen (Dach) nach dem Modell des IÖW (Hirschl 2010).....                   | 109 |
| Tab. 33 | Betrachtete Technologielinien und die jeweils erfassten Leistungsbereiche .....   | 110 |
| Tab. 34 | Jährlicher Zubau erneuerbarer Strombereitstellung für die vier Planungsregionen und Thüringen bis 2020.....                     | 130 |
| Tab. 35 | Jährlicher Zubau erneuerbarer Wärmebereitstellung für die vier Planungsregionen und Thüringen bis 2020.....                     | 131 |

## **Anhang A2**

|           |  |      |
|-----------|--|------|
| Tab. A2-1 | Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat Thüringen im Referenzszenario.....                                      | A2-2 |
| Tab. A2-2 | Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat Thüringen im ambitionierten Szenario A (ohne Effizienzsteigerung) ..... | A2-3 |
| Tab. A2-3 | Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat Thüringen im ambitionierten Szenario B (mit Effizienzsteigerung) .....  | A2-4 |
| Tab. A2-4 | Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat Thüringen im Exzellenzszenario A (ohne Effizienzsteigerung).....        | A2-5 |
| Tab. A2-5 | Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat Thüringen im Exzellenzszenario B (mit Effizienzsteigerung).....         | A2-6 |
| Tab. A2-6 | Pro-Einwohner-Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat   |      |



|   |       |
|---|-------|
| Thüringen im Referenzszenario .....   | A2-7  |
| Tab. A2-7 Pro-Einwohner-Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat<br>Thüringen im ambitionierten Szenario A (ohne Effizienzsteigerung) ..... | A2-8  |
| Tab. A2-8 Pro-Einwohner-Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat<br>Thüringen im ambitionierten Szenario B (mit Effizienzsteigerung) .....  | A2-9  |
| Tab. A2-9 Pro-Einwohner-Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat<br>Thüringen im Exzellenzszenario A (ohne Effizienzsteigerung) .....       | A2-10 |
| Tab. A2-10 Pro-Einwohner-Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat<br>Thüringen im Exzellenzszenario B (mit Effizienzsteigerung) .....       | A2-11 |

### Anhang A3

|  |       |
|--|-------|
| Tab. A3-1 Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) für die Planungsregionen und Thüringen im<br>Referenzszenario .....                           | A3-3  |
| Tab. A3-2 Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) für die Planungsregionen und Thüringen im ambitionierten<br>Szenario A/B .....                | A3-4  |
| Tab. A3-3 Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) für die Planungsregionen und Thüringen im<br>Exzellenzszenario A/B .....                      | A3-5  |
| Tab. A3-4 Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) für die vier Planungsregionen und<br>Thüringen im Referenzszenario .....                           | A3-6  |
| Tab. A3-5 Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) für die vier Planungsregionen und Thüringen im ambitionierten<br>Szenario A/B .....                | A3-7  |
| Tab. A3-6 Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) für die vier Planungsregionen und Thüringen im<br>Exzellenzszenario A/B .....                      | A3-8  |
| Tab. A3-7 Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) pro Einwohner für die Planungsregionen und Thüringen<br>im Referenzszenario .....             | A3-9  |
| Tab. A3-8 Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) pro Einwohner für die Planungsregionen und Thüringen<br>im ambitionierten Szenario A/B .....  | A3-10 |
| Tab. A3-9 Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) pro Einwohner für die Planungsregionen und Thüringen<br>im Exzellenzszenario A/B .....        | A3-11 |
| Tab. A3-10 Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) pro Einwohner für die vier Planungsregionen und Thüringen<br>im Referenzszenario .....            | A3-12 |
| Tab. A3-11 Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) pro Einwohner für die vier Planungsregionen und Thüringen<br>im ambitionierten Szenario A/B ..... | A3-13 |
| Tab. A3-12 Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) pro Einwohner für die vier Planungsregionen und Thüringen<br>im Exzellenzszenario A/B .....       | A3-14 |
| Tab. A3-13 Biotreibstoff-Produktion (Endenergie) für die Planungsregionen und Thüringen in allen Szenarien   | A3-15 |
| Tab. A3-14 Biotreibstoff-Produktion (Endenergie) pro Einwohner für die Planungsregionen und  |       |

|  |       |
|--|-------|
| Thüringen in allen Szenarien.....  | A3-16 |
| Tab. A3-15 Rahmenbedingungen zur Ermittlung der Biomassepotenziale im Referenzszenario,<br>im ambitionierten Szenario und im Exzellenzszenario ..... | A3-24 |
| Tab. A3-16 Bioenergiepotenziale Thüringens bei veränderten Rahmenbedingungen.....  | A3-25 |
| Tab. A3-17 Biomassepotenziale und derzeit genutzter Anteil im Referenzszenario .....   | A3-26 |

#### **Anhang A4**

|   |      |
|---|------|
| Tab. A4-1 Selbstversorgungsgrade im Referenzszenario für die Planungsregionen und Thüringen .....                                       | A4-1 |
| Tab. A4-2 Selbstversorgungsgrade im ambitionierten Szenario A (ohne Effizienzsteigerung) für die<br>Planungsregionen und Thüringen..... | A4-2 |
| Tab. A4-3 Selbstversorgungsgrade im ambitionierten Szenario B (mit Effizienzsteigerung) für die<br>Planungsregionen und Thüringen.....  | A4-3 |
| Tab. A4-4 Selbstversorgungsgrade im Exzellenzszenario A (ohne Effizienzsteigerung) für die<br>Planungsregionen und Thüringen.....       | A4-4 |
| Tab. A4-5 Selbstversorgungsgrade im Exzellenzszenario B (mit Effizienzsteigerung) für die<br>Planungsregionen und Thüringen.....        | A4-5 |

## Abkürzungsverzeichnis

|             |   |
|-------------|---|
| a           | Jahr  |
| $A_E$       | Energiebezugsfläche pro Stadtraum   |
| $a_j$       | technologiespezifische Konstante  |
| BAFU        | Bundesamt für Umwelt (Schweiz)  |
| BauNVO      | Baunutzungsverordnung   |
| BBL         | Bruttobauland   |
| BBR         | Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung                                  |
| BBSR        | Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung                         |
| BGF         | Bruttogeschossfläche  |
| BIOBETH     | Bioenergieberatung Thüringen  |
| $b_j$       | technologiespezifische Konstante  |
| BMU         | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit           |
| BMVBS       | Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung                   |
| BMWi        | Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie                          |
| BWP         | Bundesverband WärmePumpe e.V.   |
| BZE         | Bezugseinheit   |
| $c_j$       | technologiespezifische Konstante  |
| d           | Tag   |
| DBU         | Deutsche Bundesstiftung Umwelt  |
| DENA        | Deutsche Energie-Agentur  |
| EE          | Erneuerbare Energien  |
| EEG         | Erneuerbares Energien Gesetz  |
| Efm         | Erntefestmeter  |
| EIC         | Landkreis Eichsfeld   |
| EnEV        | Energieeinsparverordnung  |
| EPBD        | Energy Performance of Buildings Directive (Europäische Gebäuderichtlinie) |
| $e''_{VH}$  | jährlicher Mittelwert des Wärmestandards                                  |
| $e_{VHsan}$ | Sanierungsziel für den Heizwärmebedarf                                    |
| EVU         | Energieversorgungsunternehmen   |
| $e'_{vW}$   | Warmwasser- bzw. Prozesswärmebedarf im Startjahr                          |
| $e_{vW}$    | zukünftiger Warmwasser- und Prozesswärmebedarf                            |
| EW          | Einwohner   |
| ExWoSt      | Experimenteller Wohnungs- und Städtebau                                   |
| $f_B$       | Anpassungsfaktor Bevölkerungsentwicklung                                  |
| $f_F$       | Anpassungsfaktor zur Ferienhausnutzung                                    |
| $f_G$       | Gemeinbedarfsfläche   |
| FH          | Fachhochschule  |
| FHN         | Fachhochschule Nordhausen   |
| $f_L$       | Anpassungsfaktor zum Wohnungsleerstand                                    |
| $f_N$       | Abschlag für nicht zu beheizende oder zu klimatisierende Geschossflächen  |
| FNR         | Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.                                  |
| FuE         | Forschung und Entwicklung   |
| $f_W$       | Anpassungsfaktor zur pro-Kopf-Wohnraumzunahme                             |
| $G_{20/15}$ | Gradtagszahl (Innentemperatur 20 °C /Heizgrenztemperatur außen 15 °C)     |

|                    |   |
|--------------------|---|
| GeotIS             | Geothermisches Informationssystem für Deutschland     |
| GFZ                | Geschossflächenzahl                                   |
| GHD                | Gewerbe, Handel, Dienstleistung                       |
| GHDI               | Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie            |
| GRZ                | Grundflächenzahl                                      |
| GWh                | Gigawattstunde  |
| GWh <sub>End</sub> | Gigawattstunden Endenergie                            |
| h                  | Stunde  |
| ha                 | Hektar  |
| IEKP               | Integriertes Energie- und Klimaprogramm               |
| IWU                | Institut Wohnen und Umwelt                            |
| JAZ                | Jahresarbeitszahl                                     |
| k                  | Modellfaktor zur Energiebedarfsermittlung             |
| Kd                 | Kelvin-Tag  |
| kJ                 | Kilojoule   |
| km                 | Kilometer   |
| km <sup>2</sup>    | Quadratkilometer                                      |
| kV                 | Kilovolt  |
| kW                 | Kilowatt  |
| kWh                | Kilowattstunde  |
| kWh <sub>End</sub> | Kilowattstunden Endenergie                            |
| KWK                | Kraft-Wärme-Kopplung                                  |
| KYF                | Kyffhäuserkreis                                       |
| LEP                | Landesentwicklungsplan                                |
| LK                 | Landkreis   |
| LRT                | Landschaftsraumtyp                                    |
| m                  | Meter   |
| m <sup>2</sup>     | Quadratmeter  |
| m <sup>3</sup>     | Kubikmeter  |
| MJ                 | Megajoule   |
| MQ                 | Mittlerer Abfluss (Volumenstrom)                      |
| MW                 | Megawatt  |
| MWh                | Megawattstunden                                       |
| MWh <sub>End</sub> | Megawattstunden Endenergie                            |
| Nawaro             | Nachwachsende Rohstoffe                               |
| NAP-EE             | Nationaler Aktionsplan für Erneuerbare Energien       |
| NBL                | Nettobauland  |
| NDH                | Landkreis Nordhausen                                  |
| $\eta_{ES,i}$      | technisch machbare Erdwärmesondendichte pro Stadtraum |
| NN                 | Normalnull  |
| NT                 | Nordthüringen   |
| ÖPNV               | Öffentlicher Personennahverkehr                       |
| P                  | Leistung  |
| PME                | Pflanzenmethylester (Biodiesel)                       |
| PV                 | Photovoltaik  |
| RP                 | Regionalplan  |
| RPG                | Regionale Planungsgemeinschaft                        |
| s                  | Sanierungsrate  |

|                      |   |
|----------------------|---|
| s                    | Sekunde   |
| SRT                  | Siedlungsraumtyp  |
| STEM                 | Space-Type-Energy-Model   |
| T                    | Temperatur  |
| t                    | Tonne   |
| <i>t</i>             | Zeit  |
| <i>t<sub>b</sub></i> | Bezugsjahr  |
| ThEGA                | Thüringer Energie- und Greentech-Agentur  |
| ThürWG               | Thüringer Wassergesetz  |
| TJ                   | Terrajoule  |
| TLL                  | Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft  |
| TLS                  | Thüringer Landesamt für Statistik   |
| TLUG                 | Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie   |
| TLVwA                | Thüringer Landesverwaltungsamt  |
| TLWJF                | Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei  |
| TMBV                 | Thüringer Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Verkehr                                |
| TMWAT                | Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie                                |
| UBA                  | Umweltbundesamt   |
| W                    | Watt  |
| WHG                  | Wasserhaushaltsgesetz   |
| WRRL                 | Wasserrahmenrichtlinie  |
| WSVO                 | Wärmeschutzverordnung   |
| WWF                  | World Wide Fund For Nature (Welt-Naturstiftung)   |
| z                    | Anzahl der meteorologischen Heiztage, deren Temperatur unter der Heizgrenztemperatur liegen |
| °C                   | Grad Celsius (Temperatur)   |

## Glossar

**Anthropogene Ressourcen** umfassen mit heutiger Technologie verwertbare bzw. wieder verwertbare Teile des vom Menschen angehäuften Materialbestands, der sich aus derzeit genutzten Gütern und deponierten Abfällen (anthropogenes Lager) zusammensetzt.

**Selbstversorgung (Autarkie)** ist die Fähigkeit eines Modellraumes, sich selbst mit erneuerbarer Energie zu versorgen.

Der **Selbstversorgungsgrad (Autarkiegrad)** ist das Maß, mit dem die Fähigkeit eines Modellraumes zur Selbstversorgung mit erneuerbarer Energie gemessen wird (100% entspricht einer völligen Selbstversorgung).

**Brachflächen** bezeichnen im Rahmen dieser Studie ehemals anthropogen genutzte Flächen, die keiner Nachnutzung oder nur einer Zwischennutzung unterliegen.

**Bruttobauland** ist die Gesamtheit aller Baugrundstücke inklusive der dazugehörigen Grün-, Verkehrs- und Wasserflächen innerhalb eines Baugebietes.

**Bruttogrundfläche** ist die Summe der Grundflächen aller Grundrissebenen eines Gebäudes einschließlich der Konstruktionsflächen.

**Endenergie** bezeichnet die dem Verbraucher nach energiespezifischen Aufbereitungs- und Umwandlungsprozessen zugeführte Energie, beispielsweise in Form von Kohlebriketts, Erdgas, Benzin oder Elektrizität.

**Energiesektoren** werden gebildet, um die Menge der Energieabnehmer zu systematisieren. In dieser Studie werden die Energieparteien „Haushalte“, „Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)“, „Industrie“ und „Mobilität“ unterschieden.

Als **Energiepflanzen** werden ein- oder mehrjährige Kulturen verstanden, die auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zur alleinigen energetischen Verwertung angebaut werden.

Ein **Expertensystem (STEM)** ist ein softwaregestütztes System, das auf der Basis von Expertenwissen entwickelt wurde und zur Lösung und Bewertung bestimmter, komplexer Problemstellungen dient.

**Flächeneffizienz** charakterisiert den Energieertrag pro Fläche und wird in Gigawattstunden pro Hektar und Jahr angegeben.

**Freiflächenanlagen** sind Anlagen, die eine Freifläche in Anspruch nehmen, die somit für keine andere Nutzung mehr zur Verfügung steht.

**Gebäudenutzfläche** ist die Nettogrundfläche eines Gebäudes abzüglich Verkehrsflächen und technischen Funktionsflächen.

**Geoinformationssysteme (GIS)** verknüpfen digitale Karten mit Datenbanken, um ausgewählte Daten räumlich zu bearbeiten, zu überlagern und zu visualisieren.

Die **Geschossflächenzahl** gibt das maximal zulässige Verhältnis von Geschossfläche zur Grundstücksfläche an.

**Gestehungskosten** bezeichnen das Verhältnis der Summe aus Betriebs- und Kapitalkosten (inklusive der jährlichen Zinszahlungen und Abschreibungen auf die Investitionskosten) zur produzierten Nettoenergie und erlauben es, die Wirtschaftlichkeit einzelner erneuerbarer Energieträger zu vergleichen.

**Grundlast** ist die unabhängig von Jahres- oder Tageszeit permanent benötigte Leistung in einem Energieversorgungssystem.

**Intelligente Stromnetze** (engl. „smart grid“) umfassen Stromnetze und deren Steuerung mit einer Datenkommunikation zwischen Stromerzeugung, Speichern, elektrischen Verbrauchern und Netzbetriebsmitteln.

**Jahresarbeitszahl** ist das Verhältnis der erzeugten Wärmeenergie zur zugeführten elektrischen Energie.

**Kurzumtrieb** ist die Kultivierung schnell wachsender Pflanzen (Gehölze, krautige Pflanzen) auf geeigneten Flächen. Kurzumtriebspflanzen zeichnen sich durch Schnellwüchsigkeit und hohe Biomasseerträge aus. Beispiele für Kurzumtriebshölzer sind Pappeln, Weiden und Birken.

**Lithologie** befasst sich mit den chemischen und physikalischen Beschaffenheiten von Gesteinen sowie deren Eigenschaften und Zusammensetzung.

**Nettogrundfläche** ist die Summe der Grundflächen aller Grundrissebenen eines Gebäudes ohne Konstruktionsflächen.

**Nutzenergie** bezeichnet die genutzte Energie des Verbrauchers in Form von Licht, Kraft, Wärme etc., die durch die Anwendung oder Umwandlung von Endenergie gewonnen wird.

**Nutzungsgrad** wird im Zusammenhang mit der Umsetzung von Energie dazu verwendet, das Verhältnis von abgegebener und genutzter Energie zur eingesetzten Primärenergie darzustellen.

Der **ökologische Fußabdruck** verdeutlicht die Fläche, die benötigt wird, um die Energie und Rohstoffe zur Verfügung zu stellen, die für den Alltag unter heutigen Produktionsbedingungen benötigt werden.

**Primärenergie** ist die Energie des ursprünglichen unaufbereiteten Rohstoffs, wie Kohle, Naturgas, Rohöl, aber auch Sonne, Wind und Wasserkraft.

**Regionale Wertschöpfung** umfasst die gesamten Leistungen der regionalen Unternehmen und den dadurch erzeugten Nutzen für die Kommunen, abzüglich erbrachter Leistungen aus anderen Regionen.

**Repowering** ist der Ersatz alter Energieanlagen durch neue, in der Regel leistungsstärkere Anlagen.

**Solare Begabung** ist die Fähigkeit eines Gebäudes, über seine Hülle solar Energie zu erzeugen.

**Solare Gütezahlen** spezifizieren die solare Begabung eines prototypischen Stadtraumes.

**Siedlungsraumtypen** sind prototypische, nach städtebaulichen Leitbildern geschaffene Stadträume, die hinsichtlich ihres Energieverbrauches und ihrer Begabung, erneuerbare Energie zu erzeugen, vergleichbar sind.

**Szenarien** sind Modellrechnungen möglicher zukünftiger Entwicklungen unter bestimmten, definierten Randbedingungen.

**Treibhausgase** wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O), verursachen den Treibhauseffekt, also die Aufwärmung der Erdatmosphäre.

**Windhöffigkeit** beschreibt das durchschnittliche Windaufkommen an einem Standort.

**Zwischennutzung** ist die temporäre Nutzung einer Fläche mit dem Ziel, eine raumplanerische Zustandsverbesserung zu erreichen oder einen wirtschaftlichen Gewinn zu erzielen.

## Formelverzeichnis

### Nettobauland

Das Nettobauland eines Stadtraumtyps ergibt sich aus dem Bruttobauland (überbaute und nicht überbaute Grundstücksfläche einschließlich privater Stellplätze, Freiflächen sowie Wege und Nebenanlagen) abzüglich des Anteils der Gemeinbedarfsflächen (öffentlichen Grünflächen und Straßenflächen).

$$(1) \quad NBL_i = BBL_i \cdot (1 - f_{G,i})$$

|       |                     |
|-------|---------------------|
| $NBL$ | Nettobauland        |
| $BBL$ | Bruttobauland       |
| $f_G$ | Gemeinbedarfsfläche |

### Energiebezugsfläche

Die Energiebezugsfläche entspricht der Summe aller Geschossflächen für deren Nutzung ein Beheizen oder Klimatisieren notwendig ist.

$$(2) \quad A_{E,i} = NBL_i \cdot GFZ_i \cdot f_{N,i} \cdot f_{B,i} \cdot f_{W,i} \cdot f_{L,i} \cdot f_{F,i}$$

|       |  |
|-------|--|
| $A_E$ | Energiebezugsfläche pro Stadtraum  |
| $NBL$ | Nettobauland   |
| $GFZ$ | Geschossflächenzahl  |
| $f_N$ | Abschlag für nicht zu beheizende oder zu klimatisierende Geschossflächen |
| $f_B$ | Anpassungsfaktor Bevölkerungsentwicklung                                 |
| $f_W$ | Anpassungsfaktor zur Pro-Kopf-Wohnraumzunahme                            |
| $f_L$ | Anpassungsfaktor zum Wohnungsleerstand                                   |
| $f_F$ | Anpassungsfaktor zur Ferienhausnutzung                                   |

### Mittlerer Heizwärmebedarf

Der mittlere Heizenergiebedarf ergibt sich aus der Sanierungsrate eines Stadtraums und einem Sanierungsziel für den Heizwärmebedarf nach einer gewählten Anzahl von Jahren ausgehend von dem diesjährig erreichten Mittelwert als Startwert.

$$(3) \quad e_{VH,i} = e_{VH,i}'' \cdot \left[ \frac{e_{VHsan,i}}{e_{VH,i}''} + (1 - s_i)^t \cdot \left( 1 - \frac{e_{VHsan,i}}{e_{VH,i}''} \right) \right]$$

|             |  |
|-------------|--|
| $e_{VH}''$  | jährlicher Mittelwert des Wärmestandards |
| $e_{VHsan}$ | Sanierungsziel für den Heizwärmebedarf   |
| $s$         | Sanierungsrate                           |
| $t$         | Zeit                                     |



## Zukünftiger Warmwasser- und Prozesswärmebedarf

Der zukünftige Warmwasser- und Prozesswärmebedarf wird aus einem Modellfaktor auf Grundlage der Studie „Modell Deutschland“ (Prognos & Ökoinstitut 2009) und dem Warmwasser- und Prozesswärmebedarf des Startjahres berechnet.

$$(4) \quad e_{vw,i} = e'_{vw,i} \cdot \kappa_i$$

|           |   |
|-----------|---|
| $e_{vw}$  | zukünftiger Warmwasser bzw. Prozesswärmebedarf  |
| $e'_{vw}$ | Warmwasser bzw. Prozesswärmebedarf im Startjahr |
| $\kappa$  | Modellfaktor zur Energiebedarfsermittlung       |

## Gradtagzahl für einen Monat bei einer mittleren Raumtemperatur von 20°C und einer Heizgrenze von 15°C

Die Gradtagzahl als ortsabhängige Größe wird gemessen sobald die Außentemperatur unter der Heizgrenze von 15°C liegt und ist die Summe aus den Differenzen der mittleren Raumtemperatur von 20 °C und der jeweiligen durchschnittlichen Tagesaußentemperatur (VDI 3807 Blatt 1).

$$(5) \quad G_{20/15} = \sum_i (T_i - T_a)$$

|             |   |
|-------------|---|
| $G_{20/15}$ | Gradtagzahl für einen Monat bei einer mittleren Raumtemperatur von 20°C und einer Heizgrenze von 15°C |
| $T_i$       | mittlere Raumtemperatur   |
| $T_a$       | mittlere Außentemperatur des jeweiligen Heiztages   |
| $z$         | Anzahl der meteorologischen Heiztage  |

## Windgeschwindigkeit

Die Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe wird für die bodennahe Grenzschicht mit Hilfe des Potenzgesetzes nach Hellmann beschrieben (Gasch 2010). Für eine zu berechnende Windgeschwindigkeit in 120m Höhe mit gegebenen Werten in 80m Höhe ergibt sich:

$$(6) \quad v_{120} = v_{80} \cdot \left( \frac{120m}{80m} \right)^\alpha$$

|          |                     |
|----------|---------------------|
| $v$      | Windgeschwindigkeit |
| $\alpha$ | Höhenexponent       |

## Zusammenfassung

Die Thüringer Landesregierung hat sich mit ihrem energiepolitischen Konzept das Ziel gesetzt, auch in Zukunft Versorgungssicherheit und Bezahlbarkeit von Energie unter den Vorzeichen der Klima- und Umweltverträglichkeit zu gewährleisten. Die Intention einer engagierten Energiepolitik in Thüringen liegt darin, sowohl einen erheblichen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten als auch dafür Sorge zu tragen, dass Wertschöpfung im eigenen Land generiert wird. Im Eckpunktepapier „Neue Energie für Thüringen“ (TMWAT 2011) wurden von der Landesregierung ambitionierte Ziele für 2020 definiert. Bis 2020 sollen

- 45 Prozent des Nettostromverbrauchs und
- 30 Prozent des Endenergieverbrauchs Thüringens

durch erneuerbare Energien gedeckt werden. Damit diese Ziele erreicht werden können muss Thüringen die vorhandenen Potenziale deutlich stärker ausschöpfen als bisher. Im Vergleich zu anderen Bundesländern liegt der Freistaat oft nur im Mittelfeld.

Wo diese Potenziale im Einzelnen verortet sind, zeigt die nun vorliegende Studie „Thüringer Bestands- und Potenzialatlas für erneuerbare Energien“, aufgeschlüsselt nach den einzelnen Thüringer Planungsregionen und Kommunen sowie den einzelnen erneuerbaren Energieträgern. Mit dieser Studie steht den Thüringer Kommunen und Landkreisen ein wegweisendes Instrument mit einer regional hoch aufgelösten Datenbasis zur Verfügung, auf dessen Grundlage regionale und lokale Energiekonzepte erarbeitet werden können.

Methodisch basiert der Bestands- und Potenzialatlas auf einer detaillierten Analyse von aktuellem Energieerzeugung und -verbrauch, sowie der Projektion zukünftigen Verbrauchs und Erzeugung aus erneuerbaren Energien anhand von Szenarien. Die Szenarien bilden mögliche gesellschaftliche, politische und technologische Entwicklungen in Thüringen ab, die als quantitative Größen in die Berechnungen eingegangen sind. Ein Schwerpunkt dieses Ansatzes lag auf der Identifikation und auch Quantifizierung von „Stellschrauben“, also Einflussgrößen, die durch politische oder gesellschaftliche Aktivitäten direkt gesteuert werden können, um den Anteil erneuerbarer Energien und die Energieeffizienz zu erhöhen.

Während im Referenzszenario ein Business as usual -Verhalten der aktuellen Energiepolitik sowie der technologischen Entwicklung und Effizienzsteigerung angenommen wird, zeichnen sich die Entwicklungen im ambitionierten und Exzellenzszenario durch eine auf Thüringen angepasste Strategie beim Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien aus. Effizienzmaßnahmen, besonders im Wärmebereich, werden ebenso wie technologische Neuerungen stärker als im Referenzszenario berücksichtigt.

Zudem wurde einkalkuliert, dass die prognostizierte Bevölkerungsabnahme durch die ländlich geprägte Siedlungsstruktur räumlich unterschiedlich verlaufen wird und sich somit direkt auf den zukünftigen Energiebedarf auswirkt. Nicht berücksichtigt werden Suffizienzmaßnahmen.

In der Studie werden sowohl der Energieverbrauch als auch die Energieressourcen flächenbezogen in den drei Sektoren Wohnen, Arbeiten und Mobilität analysiert. Dabei wird grundsätzlich zwischen dem Wärme-, Strom- und Treibstoffbedarf unterschieden. Bei den untersuchten erneuerbaren Energieträgern wird im Einzelnen zwischen Solar-, Wind-, Wasser-, Bioenergie, oberflächennaher Geothermie und Tiefengeothermie, Abwasserwärme sowie Deponiegas aus Müllverbrennungsanlagen unterschieden. Um den differenzierten Energiebedarf ebenso wie die Potenziale der erneuerbaren Energiebereitstellung räumlich hinreichend genau erfassen und projizieren zu können, wird das Modellgebiet in energetische Homogenbereiche eingeteilt.

Basierend auf der Energiebilanz Thüringens (TLS 2011) ergibt sich in allen Verbrauchssektoren (Wohnen, Arbeiten, Mobilität) und für alle betrachteten Energieformen (Strom, Wärme, Treibstoff) ein aktueller Energieverbrauch von etwa 56.000 Gigawattstunden pro Jahr (2010). Pro Einwohner beträgt der Verbrauch damit knapp 25.000 Kilowattstunden pro Jahr und liegt somit unter dem Bundesdurchschnitt von knapp 30.000 Kilowattstunden. Der Endenergieverbrauch setzt sich aus 49 Prozent Wärme-, 24 Prozent Strom- und 27 Prozent Treibstoffbedarf zusammen.

Dabei werden 46 Prozent im Sektor Arbeiten, 29 Prozent im Sektor Wohnen und 25 Prozent im Sektor Mobilität verbraucht.

Bis zum Prognosehorizont (2050) entwickelt sich der Endenergieverbrauch entsprechend der Annahmen je nach Szenario unterschiedlich. Im Referenzszenario wird der Gesamtenergieverbrauch um etwa 30 Prozent abnehmen. Ursachen dafür sind der Rückgang des Raumwärmebedarfs und des Treibstoffverbrauchs insgesamt sowie pro Einwohner. Der Warmwasser- und Prozesswärme- sowie Strombedarf nimmt dagegen insgesamt nur leicht ab. Pro Einwohner hingegen steigen allerdings der Warmwasser- und Prozesswärmebedarf, was sowohl in einer Zunahme der Wohnfläche je Einwohner als auch in einem höheren Belegungsgrad der Gewerbe- und Industrieflächen begründet ist. Der Strombedarf pro Einwohner nimmt ebenfalls zu. Das ist unter anderem auf die zunehmende Installation von Wärmepumpen sowie einen Anstieg von Fahrzeugen im E-Mobilitätssektor zurückzuführen.

Bei der erneuerbaren Wärmebereitstellung ist die Dominanz der Biomasse mit einem Anteil von 89 Prozent deutlich ausgeprägt. Ergänzt wird der Wärmebereich durch Solarthermie (etwa zwei Prozent) und oberflächennahe Geothermie (unter ein Prozent) sowie Wärme aus Müll- und Deponiegasverbrennung (neun Prozent). Ausgehend vom Referenzszenario können 2020 27 Prozent und 2050 42 Prozent des Wärmebedarfs aus erneuerbaren Energien bereitgestellt werden. Die herausragende Rolle der Biomasse bleibt dabei mit einem Anteil von 69 Prozent im Jahr 2050 am erneuerbaren Wärme-Mix weiter bestehen. Die Nutzung von Erdwärmesonden wird mit 13 Prozent und Sonnenkollektoren zur Warmwasserbereitstellung mit elf Prozent bis 2050 deutlich zunehmen.

Im Strombereich dominieren bei den erneuerbaren Energien aktuell Windenergie mit einem Anteil von 38 Prozent und Biomasse mit 37 Prozent. Zusätzlich tragen Photovoltaikanlagen (acht Prozent) sowie Müll- und Deponiegasverbrennung (13 Prozent) zum erneuerbaren Energiemix bei. Aufgrund naturräumlicher Vorgaben beschränkt sich der Anteil der Strombereitstellung aus Wasserkraft aktuell auf drei Prozent.

Im Vergleich der einzelnen Planungsregionen liegt Nordthüringen bei der erneuerbaren Stromproduktion pro Einwohner durch die führende Rolle in den Bereichen Windenergie und Photovoltaik vorn. In den Bereichen Wasserkraft und Biomasse dominiert hingegen Ostthüringen sowohl pro Einwohner als auch im Gesamtwert. Auch im Strombereich sind die zukünftigen Deckungsgrade schon im Referenzszenario mit 45 Prozent bis 2020 und 76 Prozent bis 2050 eindrucksvoll. Hier kommt es allerdings durch die großen Potenziale der Windenergie und Photovoltaik zu einer Umverteilung bei den Anteilen der einzelnen Energieoptionen. Bis 2050 steigt der Anteil der Windkraft auf 50 Prozent und der Photovoltaik auf 15 Prozent am regenerativen Strom-Mix. Sowohl die Anteile der Nutzung der Biomasse (30 Prozent) als auch der Wasserkraft (ein Prozent) und Müllverbrennung (vier Prozent) werden auf 2010 bezogen, durch lediglich geringe Zunahmen beziehungsweise Rückgang (Müllverbrennung) der Absolutwerte, abnehmen. Die Potenziale sind in diesen Bereichen heute bereits weitestgehend ausgeschöpft. Nordthüringen nimmt aufgrund seiner großen Potenziale im Bereich der Windenergie auch in Zukunft eine exponierte Stellung ein.

Bei der Treibstoffproduktion aus erneuerbaren Rohstoffen kommt es trotz einer erwarteten Halbierung des Treibstoffbedarfs bei Verdopplung der Bio-Treibstoffproduktion bis 2050 nur zu einer Steigerung des Deckungsgrades auf 16 Prozent. Aufgrund der Flächenkonkurrenz werden auch in Zukunft die Anbauflächen für Bio-Treibstoffe begrenzt sein.

Neben den energiewirtschaftlichen Aspekten bringt der Ausbau erneuerbarer Energien auch Impulse bei der regionalen Wertschöpfung und für den Arbeitsmarkt. Die Wertschöpfungseffekte werden in einmalige und jährliche Effekte unterteilt. Durch den Zu- und Ausbau von Anlagen können einmalige Effekte von rund 1,26 Mrd. Euro im Betrachtungszeitraum (bis 2020) generiert werden, während sich mit dem Anlagenbetrieb jährliche Effekte von rund 180 Mio. Euro für Thüringen ergeben. Wie bei den energiewirtschaftlichen Analysen ergeben sich sowohl bei den Wertschöpfungseffekten als auch bei den Arbeitsplatzeffekten regionale Unterschiede.

Zusammenfassend zeigt die Studie, dass Thüringen über erhebliche Potenziale im Bereich der erneuerbaren Energien verfügt. Das Ziel der Landesregierung, 45 Prozent des Strombedarfs bis 2020 durch erneuerbare Energien bereitzustellen, wird bereits im Referenzszenario erreicht. Der angestrebte Anteil von 30 Prozent erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch kann nur mit zusätzlichen Anstrengungen erreicht werden.

Der Ausbau der erneuerbaren Energien muss sowohl mit der Erweiterung der Energienetze als auch der Energiespeicher einhergehen. Diese Aspekte sind nicht Gegenstand der Studie.



# 1      **Veranlassung**

Deutschland vollzieht zurzeit eine Energiewende. Ziel ist es, die Abhängigkeit von fossil-nuklearen Energieträgern schrittweise abzubauen. Dies gelingt nur mit konsequenter Umsetzung folgender Ziele:

1. Endliche sind durch erneuerbare Energieträger zu ersetzen.
2. Die Effizienz bei der Nutzung von Strom, Wärme und Treibstoffen ist zu steigern.
3. Der Ausbau der Netzinfrastruktur und der Energiespeicher ist zu forcieren.
4. Steigerung der regionalen Wertschöpfung durch den Einsatz erneuerbarer Energien.

Nur wenn alle von der Energiewende profitieren, kann sie gelingen.

Die Herausforderungen und Chancen, die sich aus der Energiewende für Thüringen ergeben, unterstrich die Ministerpräsidentin im März 2011 in ihrer Regierungserklärung. Die Katastrophe von Fukushima stellt eine energiepolitische Zäsur dar, die einen beschleunigten Ausbau der regenerativen Energien als zwingend notwendig erscheinen lässt. Die Landesregierung beschloss daraufhin, bis 2020 den Anteil der regenerativen Energien am Nettostromverbrauch von derzeit rund 24 Prozent auf 45 Prozent und am Gesamtenergieverbrauch von derzeit rund 18 Prozent auf 30 Prozent zu steigern. Der Trendatlas Thüringen 2020 unterstreicht die Anstrengungen des Freistaates, die vereinbarten Ziele zügig umzusetzen (TMWAT 2011).

Bereits in der Koalitionsvereinbarung der Landesregierung (Lieberknecht, Matschie 2009) wurde festgehalten, dass Thüringen seine Vorreiterrolle bei den erneuerbaren Energien weiter ausbauen und zum grünen Motor Deutschlands werden soll. Auch das Eckpunktepapier „Neue Energie für Thüringen“ (TMWAT 2011) konstatiert, dass sich nur mit einem Umbau des Energiesystems die energiepolitischen Ziele Versorgungssicherheit, Bezahlbarkeit, Klima- und Umweltverträglichkeit erreichen lassen. Vor diesem Hintergrund hat der Freistaat die Thüringer Energie- und Green-Tech-Agentur (ThEGA) als ein zentrales Informations- und Demonstrationszentrum für erneuerbare Energien und grüne Technologien gegründet.

Der Freistaat definiert Technologien im Bereich der erneuerbaren Energien als Zukunfts- und Wachstumsfeld. Entsprechend soll ein landesrechtlicher und förderspezifischer Rahmen geschaffen werden, der den Wettbewerb auf den Energiemärkten stimuliert, so dass eine Diversifizierung des Energieangebots entsteht. Die Raumordnung ist mit den erneuerbaren Energien als zentralem Baustein den neuen Herausforderungen entsprechend anzupassen.

Aufbauend auf bisherigen Vorarbeiten ist laut Koalitionsvereinbarung ein Potenzial-Kataster für erneuerbare Energien zu erstellen, in dem „auch die wirtschaftlichen Nutzungsmöglichkeiten für erneuerbare Energieträger bis auf die örtliche Ebene dargestellt und transparent gemacht werden“. Es soll als Grundlage für regionale und lokale Energiekonzepte dienen und integraler Bestandteil der Fortschreibung der Landesentwicklungsplanung bis 2025 werden.

Vor diesem Hintergrund beauftragte das Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie (TMWAT) im Sommer 2010 die Fachhochschule Nordhausen und die Energie-Klima-Plan GmbH Nordhausen mit der Erarbeitung eines Thüringer Bestands- und Potenzialatlasses für erneuerbare Energien.

## 2 Zielsetzung

Ziel des Projektes ist die Erstellung eines Thüringer Bestands- und Potenzialatlasses für erneuerbare Energien, der einerseits als Datenbasis und andererseits als Umsetzungsinstrument für eine landesweite Nutzungsplanung dienen soll. In diesem Zusammenhang wird auch auf die Quantifizierung von regional-ökonomischen Effekten eingegangen.

Im Einzelnen sind

- der aktuelle Energieverbrauch im Freistaat Thüringen zu erfassen,
- der zukünftige Energieverbrauch in verschiedenen Szenarien aufzuzeigen,
- die Potenziale der regenerativen Energieerzeugung auszuloten,
- der Energieverbrauch und der regenerative Energieertrag kartographisch darzustellen sowie
- Handlungsempfehlungen für den Freistaat abzuleiten.

Es ist zunächst eine Bestandsaufnahme vorzunehmen und die Frage zu klären, wie hoch der aktuelle Energieverbrauch im Freistaat Thüringen ist. Auf der Grundlage dieser Verbrauchsanalyse werden zwei Fragen verfolgt:

(1) Inwieweit lässt sich der absolute Anteil der regenerativen Energieerzeugung (Wind, Sonne, Wasser, Biomasse, Untergrund) erhöhen?

(2) Inwieweit kann eine Erhöhung der Energieeffizienz (zum Beispiel mit effizienteren Maschinen oder der Sanierung der Bausubstanz) zur relativen Steigerung des regenerativen Anteils beitragen?

Auf der Basis einer kleinräumigen Betrachtung auf Gemeindeebene sind detaillierte Aussagen zu den Einzelpotenzialen zu ermitteln. In drei unterschiedlichen Szenarien, dem

- Referenzszenario,
- ambitionierten Szenario und
- Exzellenzszenario

sind zum Einen der in den nächsten Jahrzehnten zu erwartende Endenergieverbrauch Thüringens zu modellieren und zum Anderen die Ausbaupfade für die einzelnen Technologien zu betrachten. Dabei ist der Prognosehorizont bis 2050 definiert, wobei die Zeitschnitte bis 2025 für die Regional- und Energiehaushaltsplanung von besonderer Bedeutung sind. Neben einer Aufgliederung in Technologielinien ist grundsätzlich nach Strom-, Wärme- und Treibstoffbereitstellung zu differenzieren. Dabei sind in den drei Szenarien unterschiedliche Entwicklungsgeschwindigkeiten vorauszusetzen: Während das Referenzszenario im Wesentlichen das Ausbautempo der vergangenen Jahre beibehält, setzen die beiden anderen Szenarien auf einen deutlich stärkeren Ausbau mit einer höheren Umsetzungsgeschwindigkeit. Die Randbedingungen der einzelnen Szenarien sind in einem Stellschraubenkatalog zu definieren.

Von besonderem Interesse ist die Frage, ob und wie die Ziele der Thüringer Landesregierung erreicht werden können, die von einem Beitrag der regenerativen Energien von 45 Prozent des Nettostromverbrauchs (derzeit rund 24 Prozent) und 30 Prozent des Endenergieverbrauchs (derzeit rund 18 Prozent) bis 2020 ausgehen.

Erneuerbare Energien gewinnen zunehmend an Bedeutung und sind daher auch in der landesweiten Nutzungsplanung zu berücksichtigen. Die Raumstrukturen und erneuerbaren Energiepotenziale in Thüringen sollen in einer räumlich differenzierten Analyse in Form eines Bestands- und Potenzialatlasses für erneuerbare Energien abgebildet werden.

Die Erfassung, Analyse und Bewertung des aktuellen Energieverbrauchs und des Standes der Nutzung erneuerbarer Energien in Thüringen auf Gemeinde- und Landkreisebene sowie ihre Projektion in Zukunftsszenarien ist insbesondere für die Fortschreibung des Landesentwicklungsplans von Bedeutung. Aus diesem Grund ist die Vielzahl von Daten zur weiteren Verwendung und zur besseren Übersicht in einem Kartenwerk, dem Thüringer Bestands- und Potenzialatlas für erneuerbare Energien, sowie in digitaler Form, einer GIS-gestützten Datenbank, bereitzustellen.

Schließlich sind Handlungsempfehlungen zu formulieren. Es sollen sowohl generelle und regionsspezifische Empfehlungen gegeben werden, die darauf abzielen, die Energiewende in Thüringen zu beschleunigen und konstruktiv auszugestalten.

## 3 Rahmenbedingungen

### 3.1 Zusammenfassung

In Anbetracht der internationalen und nationalen Zielstellungen zum Klimaschutz und dem notwendigen Umstieg auf erneuerbare Energien wurden im Eckpunktepapier der Landesregierung (TMWAT 2011) ambitionierte Ziele für 2020 definiert. Der Anteil erneuerbarer Energien am Nettostromverbrauch Thüringens soll bis 2020 auf 45 Prozent und am Endenergieverbrauch auf 30 Prozent gesteigert werden. Zur Erreichung dieser Ziele ist es notwendig die förderpolitischen Maßnahmen, wie beispielsweise das „1000-Dächer-Photovoltaik-Programm“, das „Green-Tech-Programm“ oder die „Thüringer Energieoffensive“ fortzuführen und auszubauen.

Die Naturräume Thüringens, der geologische Aufbau und die klimatischen Bedingungen bieten regional unterschiedlich gute bis sehr gute natürliche Voraussetzungen zur Erzeugung erneuerbarer Energien. Hinzu kommt die stark ländlich geprägte Siedlungsstruktur mit wenigen Ballungsräumen und einer prognostizierten Bevölkerungsabnahme, die sich unmittelbar auf den Energiebedarf auswirken wird.

Die Energienetze sind derzeit noch nicht auf die zunehmende Dezentralisierung der Stromerzeugung und den notwendigen Energietransport von Nord- nach Süddeutschland ausgerichtet. Schwankende Stromeinspeisungen machen vor allem auf Mittel- und Niederspannungsebene einen Netzausbau erforderlich. Zum Ausgleich von Schwankungen in der Einspeisung erneuerbarer Energien sind intelligente Managementsysteme aber auch Energiespeicher notwendig.

Thüringen bietet sehr gute Voraussetzungen zum Ausbau der erneuerbaren Energien und hat mit Verabschiedung des Eckpunktepapiers der Landesregierung die richtigen Weichen zur Aktivierung der vorhandenen Ressourcen gestellt.

### 3.2 Energiepolitische Rahmenbedingungen

Im Kyoto-Protokoll 1997 wurden verbindliche Verpflichtungen für Industriestaaten festgelegt (BMU 1997). Gegenüber 1990 sollen bis 2012 die anthropogenen Treibhausgasemissionen um insgesamt 5 Prozent reduziert werden. Nach der Klimakonferenz in Bali 2007 mit dem Beschluss zu Verhandlungen über die Weiterführung des internationalen Klimaschutzes nach 2012 konnten bislang keine Verpflichtungen zur Emissionsreduktion nach 2012 vereinbart werden. Als Wegweiser gilt aber die politische Vereinbarung der Klimakonferenz in Kopenhagen (2009), in deren Folge alle wichtigen Emittenten aus Industrie- und Entwicklungsländern (etwa 80 Prozent der globalen Emissionen laut BMU 2010a) konkrete Klimaschutzziele und -maßnahmen vorgelegt haben.

Im Zuge der Kopenhagener Vereinbarung erklärte die EU (in Abs. 3 RL 2009/29/EG), ihre Emissionen um 20 Prozent und im Falle eines verbindlichen Abkommens um 30 Prozent bis 2020 zu reduzieren. Mit der Richtlinie „zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen“ (RL 2009/28/EG) als Teil des Europäischen Klima- und Energiepakets besteht erstmals eine europäische Gesamtregelung, die die Bereiche Strom, Wärme/Kälte und Treibstoffe aus erneuerbaren Energien bündelt. In Abs. 9 dieser Richtlinie sind die verbindlichen Ziele bis 2020, 20 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien zu decken sowie mindestens 10 Prozent des fossilen Treibstoffverbrauchs durch Biotreibstoffe zu ersetzen, enthalten. Unter Berücksichtigung der Ausgangslage und des Potenzials bestehen differenzierte nationale Ziele der einzelnen Mitgliedstaaten. Das Ziel für Deutschland mit 18 Prozent am Bruttoendenergieverbrauch wurde im Nationalen Aktionsplan für erneuerbare Energie (BMU 2010b) festgehalten.

Bereits vor der Verabschiedung des Nationalen Aktionsplans hatte die Bundesregierung mit dem „Erneuerbare-Energien-Gesetz“ (EEG) 2004 und 2009 und dem „Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz“ (EEWärmeG) von 2009 gesetzliche Ziele für die Anteile der erneuerbaren Energien an der Strom- und Wärmeversorgung verankert.

In der ab 1. Januar 2012 geltenden Fassung des EEG wird neben den bewährten Kernaspekten der Einspeisevergütung und des Einspeisemanagements mit dem Vorrang für Strom aus erneuerbaren Quellen eine kontinuierliche Steigerung des Anteils der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien auf 35 Prozent bis spätestens 2020 und auf 80 Prozent bis spätestens 2050 beschrieben. Das 2009 in Kraft getretene EEWärmeG enthält sowohl die Zielvorgabe, den Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte bis 2020 auf 14 Prozent zu erhöhen als auch eine



Nutzungspflicht von erneuerbaren Energien bei Neubauten. Als wichtiges Instrument auf Bundesebene, das auch für Thüringen von Bedeutung ist, soll an dieser Stelle noch das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG 2002) zur Erhöhung der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung auf 25 Prozent sowie die Förderung von KWK-Anlagen genannt werden.

Die Bedeutung von Umweltverträglichkeit und Ressourcenschonung hat Thüringen erkannt und mit dem 31. Artikel in die Thüringer Verfassung integriert. Der Anteil erneuerbarer Energien am Nettostromverbrauch soll 2020 auf 45 Prozent und am Endenergieverbrauch auf 30 Prozent steigen (TMWAT 2011). Zur Umsetzung dieser ambitionierten Ziele stehen Thüringen Beratungseinrichtungen und Kompetenzzentren zur Verfügung. Die Bioenergieberatung Thüringen (BIOBETH) bietet Beratung zu Bioenergieprojekten auf kommunaler Ebene. Mit dem Thüringer Zentrum Nachhaltigende Rohstoffe (TZNR) wurde speziell für Landwirte eine Energieberatung geschaffen. Zudem bietet die Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur (ThEGA) eine Informationsplattform zu den Themen Energieeffizienz und Greentech und fördert Kooperationen im Energie- und Umweltbereich. Impulse, die den Ausbau erneuerbarer Energien fördern, erfolgen auch durch Programme wie das „1000-Dächer-Photovoltaik-Programm“, das „GreenTech-Programm“ oder die „Thüringer Energieoffensive“.

### **3.3 Naturräumliche Voraussetzungen**

#### **3.3.1 Geologie**

Aus geologischer Sicht ist Thüringen in mehrere Stockwerke gegliedert (Kästner, Seidel, Wiefel 2003). Diese Stockwerke bestehen aus unterschiedlichen Gebirgsarten und wurden im Laufe der Erdgeschichte auf unterschiedliche Weise verformt (tektonisch überprägt). Grundsätzlich unterscheidet man

- das Thüringische Schiefergebirge (Grundgebirge)
- den Thüringer Wald (Molasse und Übergangsgebirge)
- das Thüringer Becken (Südwestthüringisches Triasgebiet und Tafeldeckgebirgsgebiet)
- das Weißelsterbecken (Lockergesteinsstockwerk an der Nord-Ost-Grenze von Thüringen).

Aufgrund der geologischen Vorgaben ist eine tiefengeothermische Nutzung des Untergrunds durchaus möglich. Insbesondere in einem breiten Streifen zwischen dem Landkreis Schmalkalden-Meiningen in nordöstlicher Richtung bis zum östlichen Kyffhäuserkreis verlaufend, sind geothermisch gut und sehr gut geeignete Bereiche vorhanden. Ebenso im südlichen Saale-Orla-Kreis. Auch die übrigen Gebiete sind nicht völlig von einer tiefengeothermischen Nutzbarkeit ausgeschlossen (Karte 5, Kartenwerk).

### 3.3.2 Naturräume

Die Naturräume Thüringens sind geprägt von den geologischen Vorgaben. Die Abtragung und Erosion im Laufe der Erdgeschichte formte sieben Naturräume, die wiederum in über 40 regionaltypische Einzelnaturräume untergliedert werden ([www.tlug-jena.de](http://www.tlug-jena.de)). Damit besitzt Thüringen ein äußerst abwechslungsreiches Landschaftsbild (Karte 7, Kartenwerk), das sich aus

- den meist bewaldeten Mittelgebirgen im Norden mit dem Harz und dem Kyffhäuser, im Südwesten mit der Hohen Rhön sowie in einem breiten Gürtel vom Thüringer Wald über das Thüringer Schiefergebirge (Frankenwald) in Südthüringen bis zum Ostthüringer Schiefergebirge (Vogtland),
- dem teilweise bewaldeten Zechsteingürtel an den Mittelgebirgsrändern des Harzes, des Kyffhäusers, in der Orlasenke und um Bad Liebenstein mit seinen markanten geologischen Besonderheiten, wie den Gipskarst-Landschaften oder Zechsteinriffen (Tafelberge),
- den landwirtschaftlich intensiv genutzten Buntsandstein-Hügelländern im Norden Thüringens (Landkreis Nordhausen, Landkreis Eichsfeld, östlicher Kyffhäuserkreis) und dem ebenfalls landwirtschaftlich genutzten Bad Salzunger Buntsandsteinland (Wartburgkreises) sowie den übrigen, vorwiegend bewaldeten Vorkommen der Buntsandstein-Hügelländer (Landkreise Schmalkalden-Meiningen, Hildburghausen, Saalfeld-Rudolstadt, Saale-Holzland-Kreis),
- den meist bewaldeten Muschelkalk-Platten und -Bergländern (nordwestlicher Kyffhäuserkreis, südwestliche Teile des Landkreises Eichsfeld und des Unstrut-Hainich-Kreises), die Meininger Kalkplatten (Schmalkalden-Meiningen bis Hildburghausen) mit kleinräumigen Nutzungswechseln sowie die Ilm-Saale-Ohrdruffer Platte (südliches Mittelthüringen und Ostthüringen) mit ähnlicher Nutzungsstruktur,
- dem Innerthüringer Ackerhügelland (Mittelthüringen) mit äußerst fruchtbaren Böden, dem Altenburger Lössgebiet, dem Naturraum Grabfeld im Südlichen Hildburghausen und den Weißenfelder Lössplatten,
- den ackerbaulich genutzten Auen- und Niederungen entlang der größeren Flüsse (Goldene Aue im Landkreis Nordhausen, die Helme-Unstrut-Niederung im östlicher Kyffhäuserkreis bis in den Landkreis Sömmerda, die Saale-, Werra- und Unstrutau, sowie die Saale-Holzland-Kreis),
- dem bewaldeten Basaltkuppenland im südlichen Wartburgkreis sowie im westlichen Landkreis Schmalkalden-Meiningen (Vorderrhön) zusammensetzt.

An die Verteilung der einzelnen Naturräume sind unmittelbar die spezifischen Nutzungsmöglichkeiten, aber auch Nutzungskonkurrenzen gebunden. Dies führt dazu, dass jede Region ganz individuelle Voraussetzungen bzw. Potenziale zur Bereitstellung erneuerbarer Energien aufweist.

### 3.3.3 Klimatische Bedingungen

Aufgrund des Klimawandels ist auch in Thüringen von einem Anstieg der Temperaturen auszugehen. Nach einer Studie des Umweltbundesamtes werden sich im Mittel die Temperaturen bis 2050 um 1,0 bis 1,5 Grad Celsius erhöhen (UBA 2008b). In Abbildung 1 ist der mittlere Temperaturanstieg dargestellt. Im Modell wird dies berücksichtigt, indem der Heizwärmebedarf mit der Zeit reduziert wird. Dies geschieht über eine Anpassung der Heizgradtage, wie später in Kapitel 6 noch dargestellt. Dem gegenüber steht ein zukünftig steigender Kühlungsbedarf im Sommer.

Die Klimaprognosen sagen bis 2050 eine Zunahme des Niederschlags im Winter und eine Abnahme im Sommer voraus. Extreme Wetterereignisse werden sich häufen (Starkregen, Hitzewellen, Kälteeinbrüche, Hochwasser, Stürme). Dieser Aspekt wird im Modell nicht berücksichtigt, da solche Ereignisse häufig lokal sehr begrenzt auftreten und eine Voraussage weder räumlich noch zeitlich möglich ist.

Auch wenn zügig Maßnahmen zur Milderung des Klimawandels ergriffen werden, wird sich der Temperaturanstieg aufgrund der Trägheit des globalen Klimasystems bis 2050 wie prognostiziert einstellen. Falls keine deutlichen Anstrengungen unternommen werden, die Emission von Treibhausgasen zu verhindern, wird sich der Temperaturanstieg in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts noch dramatischer entwickeln.

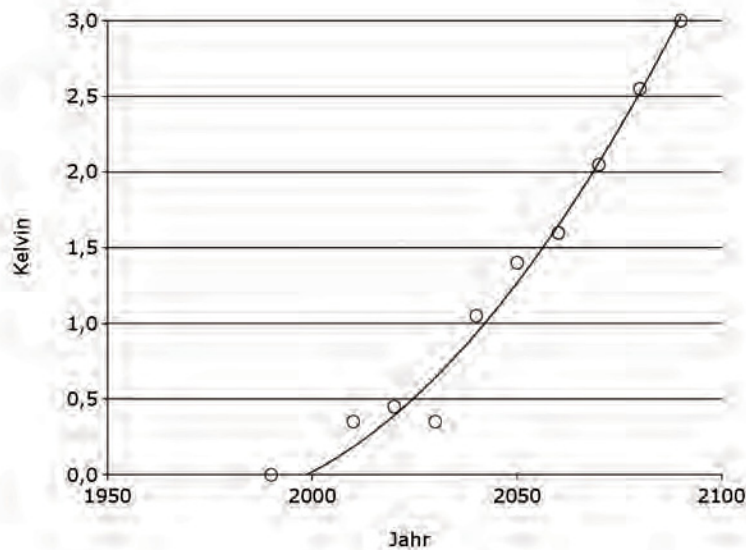


Abb. 1 Für die Modellierung angenommene Temperatursteigerung (UBA 2008:91).

Die klimatischen Bedingungen eröffnen weitere regenerative Energiepotenziale. Thüringen ist durch ein gemäßigtes, kontinentales Klima gekennzeichnet (kalte Winter und trockene Sommer). Es dominieren Westwinde, die in einigen Regionen große Windpotenziale bieten. Die größten mittleren Windgeschwindigkeiten in 120 Meter Höhe (7-10 Meter pro Sekunde) treten auf den Höhenrücken der Mittelgebirge auf. Diese exponierten Stellen sind jedoch in der Regel bewaldet und prägen das Landschaftsbild über weite Entfernungen hin deutlich. Mittlere Windgeschwindigkeiten von mehr als 6 Meter pro Sekunde sind in weiten Teilen Nordthüringens (westlicher Kyffhäuserkreis, östlicher Unstrut-Hainich-Kreis und mittlerer und nordöstlicher Landkreis Eichsfeld) sowie Ostthüringens (in weiten Teilen der Landkreise Altenburger Land, Greiz, Saale-Orla-Kreis und dem westlichen Saale-Holzland-Kreis) zu finden. Auch in größeren Gebieten Mittelhüringens (nördlicher Landkreis Gotha und Teile des Landkreises Weimarer Land) sind mittlere Windgeschwindigkeiten von mehr als 6 Metern pro Sekunde zu erwarten. Südwestthüringen hingegen weist kaum Windgeschwindigkeiten von mehr als 6 Metern pro Sekunde in 120 Meter Höhe auf. Lediglich im nördlichen Wartburg-Kreis und um Eisenach sind mittlere Windgeschwindigkeiten von mehr als 6 Metern pro Sekunde möglich (Karte 3, Kartenwerk).

Auch das Potenzial der Sonne ist in Thüringen ausgeprägt. Karte 4 zeigt die Globalstrahlung als Jahressummenwerte in Kilowattstunden pro Quadratmeter in Thüringen. Die größten Globalstrahlungswerte sind in Süd- und Ostthüringen zu finden. Auch der östliche Kyffhäuserkreis sowie der nördliche Landkreis Sömmerda weisen Werte über 1020 Kilowattstunden pro Quadratmeter auf. In den übrigen Teilen Thüringens liegen die Werte zwischen 980 und 1020 Kilowattstunden pro Quadratmeter.

### **3.3.4 Fließgewässer**

Thüringen verfügt über keine größeren Fließgewässer wie beispielsweise Rhein und Donau. Lediglich in Ostthüringen sind mit der Saale, der Weißen Elster, der Orla und der Weida größere Flüsse zu finden. In Südwestthüringen fließt die Werra mit einer Länge von ca. 230 Kilometern. Die Unstrut durchfließt das südliche und östliche Nordthüringen. In Mittelthüringen sind mit Gera, Ilm und Teilen der Unstrut nur wenige größere Fließgewässer vorhanden (Karte 6, Kartenwerk). Es bestehen daher keine nennenswerten Potenziale zur Steigerung der bisherigen Wasserkraftleistung.

## **3.4 Siedlungsstruktur**

### **3.4.1 Siedlungsentwicklung**

Die Siedlungsentwicklung folgt einer historisch begründeten Systematik, die sich mit städtebaulichen Leitbildern beschreiben lässt. Städtebauliche Leitbilder orientieren sich an gesellschaftlichen Strömungen, politischen Vorgaben und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. So wird unterschieden zwischen

- vorindustriellen, dörflichen Siedlungsresten,
- Resten der nach stadtbaukünstlerischen Prinzipien (nach Camillo, Sitte und Lenné) angelegten Gründerzeitquartiere (Historismus, 1840-1900) und der beginnenden Moderne (ab 1880),
- Resten der Stadterweiterungen nach dem Wohlfahrtsprinzip der 1920er und 1930er Jahre,
- Siedlungsgebieten in der Tradition der Gartenstadt und Siedlerheimstadt (1930-1950er Jahre),
- Wiederaufbauensembles der 1940-50er Jahre mit rekonstruierten und an die ursprüngliche Bebauung angepassten Baukörpern (rekonstruktiver Wiederaufbau, traditioneller Anpassungsneubau),
- Beispielen für die Bauphasen der 1960-70er Jahre, die sich an der Charta von Athen (1933) – der „gegliederten und aufgelockerten Stadt“ – orientierten (in den Neuen Bundesländern wird diese Bauphase durch die Plattenbausiedlungen markiert),
- Beispielen für den behutsamen Stadtumbau und die Stadterneuerung der 1980er Jahre im Sinne einer „kritischen Rekonstruktion“ (Beispiel: Internationale Bauausstellung IBA Berlin 1984),
- städtebaulichen Maßnahmen seit den 1990er Jahren, die sich am Prinzip der Nachhaltigkeit orientieren (Internationale Bauausstellung IBA Emscherpark).

Keinem direkten städtebaulichen Anspruch folgen Ein- und Zweifamilienhausgebiete, Zweck-, Gewerbe- und Industriebauten.

Städtebauliche Leitbilder bestimmen urbane Charakteristika wie Gebietsgrundriss, Bebauungsstruktur, Dichte, Freiflächenbestand, Kompaktheit, Systematik der äußeren und inneren Erschließung etc. (Benevolo 2007). Auf ihrer Grundlage lassen sich Siedlungsraumtypen definieren (Ecofys et al. 2004; Everding et al. 2004; Everding 2007). Zusammen mit den regionaltypischen Landschaftsräumen (Wald-, Weide- und Ackerflächen) bilden sie das räumliche Inventar Thüringens.

### 3.4.2 Siedlungsraumtypen

Im Modellgebiet findet sich eine Vielfalt regionaltypischer Siedlungsräume. Je nach Siedlungsraumtyp lassen sich charakteristische Bedarfswerte herleiten, insbesondere für die Beheizung der Gebäude. Weiterhin hängen die regenerativen Energiepotenziale im Siedlungsraum vom Siedlungsraumtyp ab. So lässt sich zum Beispiel die solare Nutzung von Dächern und Fassaden über den Siedlungsraumtyp abschätzen. Die Kartierung von Siedlungsraumtypen ist daher ein zentraler Baustein des Potenzialatlases für Thüringen.

In Tabelle 1 sind alle für Thüringen relevanten Siedlungs- und Landschaftsraumtypen zusammenfassend dargestellt. Insgesamt sind 13 Siedlungsraumtypen, 4 Landschaftsraumtypen sowie Restflächen zu unterscheiden.

Aufgrund der demographischen Entwicklung (nächster Abschnitt) sind in Thüringen keine größeren Siedlungserweiterungen zu erwarten. Das räumliche Inventar wird sich daher langfristig kaum verändern.

**Tab. 1 Die Siedlungs- und Landschaftsraumtypen in Thüringen.1**

| Nutzung      | Siedlungs- oder Landschaftsraumtyp |   |   |
|--------------|------------------------------------|---|---|
| Mischnutzung | I                                  | Vorindustrielle Altstadt  | Kleinteilige Bebauung, in der Regel gewerbliche Nutzung im Untergeschoss, Wohnen in Obergeschossen, rückwärtig oft Hof mit Nebengelassen und Gärten.  |
|              | II                                 | Innerstädtische Baublöcke der Gründer- und Vorkriegszeit            | Geschlossene Bauweise entlang der Straßen, in den Erdgeschossen oft Ladenlokale, im rückwärtigen Bereich der Parzellen oft weitere Wohn- und Gewerbeträume.   |
|              | III                                | Wiederaufbauensembles der 50er Jahre                                | Wiederaufbau auf historischem Stadtgrundriss und in Anlehnung an die ehemaligen Gebäudestrukturen, gemischte Nutzungen, mehrgeschossige Wohn- und Geschäftshäuser entlang der Straße, weniger Ladenlokale, rückwärtig Gewerbeträume, Garagen, Höfe.   |
|              | IV                                 | Dörfliche und kleinteilige Strukturen                               | Kleinteilige Bebauung, im Wesentlichen alte Dorfkerne, lockere Bebauung mit Ställen, Wirtschaftsgebäuden etc., Stellung der Gebäude unregelmäßig (folgt landwirtschaftlichen Betriebsabläufen) sowie einzeln stehende Höfe im Außenbereich der Ortschaften mit großen Nebengebäuden und Stallungen.   |
| Wohnen       | V                                  | Werks- und Genossenschaftssiedlungen der Gründer- und Vorkriegszeit | Mehrfamilienwohnhäuser als Zeilen oder Wohnhöfe, rückwärtig mit Höfen oder Gärten, auf großem Areal von arbeitgebenden Unternehmen oder Sozialen Einrichtungen zum Zweck der sozialen Wohnungsversorgung entstanden, einfache Satteldächer, aber auch komplizierte Dachformen.  |
|              | VI                                 | Siedlungen des sozialen Wohnungsbaus der 50er Jahre                 | Mehrgeschossige Wohnhäuser auf zusammenhängendem Areal mit eigenem inneren Erschließungssystem in Zeilenbauweise, Abstände zwischen den Gebäuden sind relativ groß, Grünanlagen mit Fußwegen und Spielplätzen, Verschattung durch Bewuchs, schlichte Fassaden und Satteldächer.   |
|              | VII                                | Hochhäuser und Plattenbauten  | Einzelgebäude der 1970er Jahre in Ketten oder als Scheiben in industrieller Bauweise auf großen Arealen mit eigenem Erschließungssystem und großzügigen Grünanlagen, unterschiedliche Wohnungstypen, große Fenster, monotone Fassaden, Flachdächer.   |
|              | VIII                               | Geschosswohnungsbau seit den 60er Jahren                            | (a) Mehrgeschossige Wohnhäuser auf zusammenhängendem Areal mit eigenem inneren Erschließungssystem in Zeilenbauweise, große Fenster, schlichte Fassaden und Dächer (Flach- oder Satteldächer).<br>(b) Drei- bis sechsgeschossige Wohnanlagen der 80er Jahre um gemeinschaftliche grüne Höfe mit Autostellplätzen in Tiefgaragen, oft in neu erschlossenen Siedlungsbereichen oder als Komplettierung von vorhandenen Stadtquartieren. |
|              | IX                                 | Einfamilienhäuser   | Gartenstädtische Siedlungsbereiche der Gründer- und Vorkriegszeit, villenartige Gebäude, auch Doppel- oder Reihenhäuser, einzeln stehende Einfamilienhäuser auf relativ kleinen Grundstücken, oft in klar abgrenzbaren Arealen in Randlagen der Ortschaften, in Städten flächensparender als in ländlichen Regionen, wenig Nebengebäude.  |
| Gewerbe      | X                                  | Gewerbe- und Industriegebiete                                       | Große, oft mehrgeschossige Hallen in Leichtbauweise, mehrgeschossige Verwaltungsgebäude der Gründer- und Vorkriegszeit auf Industriealtstandorten oder in neu erschlossenen Gewerbegebieten mit großzügigen Reserveflächen.   |

| Nutzung                  | Siedlungs- oder Landschaftsraumtyp |  |   |
|--------------------------|------------------------------------|--|---|
| Gewerbe in Mischbebauung | X-M                                | Gewerbe in Mischbebauung                       | Typisch im Erdgeschoss gründerzeitlicher Bebauung, aber auch in Wiederaufbauensembles, dörflichen Strukturen und in der Altstadt. Die energetischen Eigenschaften richten sich nach den für die SRT I-IV definierten.   |
| Zweckbau                 | XI                                 | Zweckbaukomplexe und öffentliche Einrichtungen | Zweckbauten und öffentliche Einrichtungen, wie Krankenhäuser, Schulen, Schwimmbäder, Altenheime, Einkaufszentren, Turnhallen, Bürokomplexe, Freizeitanlagen etc.  |
| Grün- und Parkanlagen    | XII                                | Innerstädtische Grün- und Parkanlagen          | Grün- und Parkanlagen innerhalb der Ortschaften mit regelmäßiger Pflege, Kleingärten, Friedhöfe, Sportplätze, Campingplätze, Gehölzinseln und Gehölzstreifen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, Weinanbaugebiete, Weihnachtsbaum- und Kurzumtriebsplantagen. |
| Grünland/Wiese           | XIIa                               | Landwirtschaftlich genutzte Wiesen und Weiden  | Grünland, Wiesen und Weiden mit Viehwirtschaftung oder Mahd.  |
| Wald                     | XIIb                               | Wald   | Mit Wald bestockte Flächen mit einer Größe von mindestens 1.000m <sup>2</sup> .   |
| Ackerland                | XIII                               | Ackerland                                      | Ackerbaulich genutzte Flächen, geeignet zum Anbau von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen.  |
| Restflächen              | XIV                                | Restflächen                                    | Verkehrs- und Wasserflächen, Deponien, Klärwerke, Gebiete zum Abbau von Rohstoffen, Spielplätze.  |

<sup>1</sup>Eigene Zusammenstellung auf der Grundlage von Ecofys et al. 2004; Everding et al. 2004; Everding 2007.

### 3.5 Demographische Entwicklung

In der zwölften koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung wird für Thüringen ein Rückgang der Bevölkerung von 2.221.700 Einwohnern (2010) auf 1.492.100 Einwohner (2050) prognostiziert (TLS 2010a). Dies entspricht einer Bevölkerungsabnahme um ca. 33 Prozent.

Insgesamt wird die Bevölkerungsabnahme im Freistaat Thüringen über dem Bundesdurchschnitt liegen und räumlich sehr unterschiedlich verlaufen (Tab. 2, Abb. 2). Mittelthüringen wird insgesamt die geringste Bevölkerungsabnahme erfahren, da für die Städte Erfurt und Weimar sogar leichte Bevölkerungszuwächse bis 2030 prognostiziert werden.

Der Bevölkerungsrückgang wird sich unmittelbar auf die Summe aller Energiebezugsflächen (berechnet nach Formel 2) auswirken. In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass im Sektor Wohnen die Energiebezugsflächen in Summe entsprechend des Rückgangs der Bevölkerung abnehmen wird.

**Tab. 2 Prognostizierte Bevölkerungsentwicklung des Freistaates Thüringen von 2010 bis 2050 (Variante 1)<sup>1</sup>.**

| 2010      | 2020      | 2030      | 2040      | 2050      | Entwicklung 2030 : 2010 |     | Entwicklung 2050 : 2010 |     |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------------|-----|-------------------------|-----|
| EW        | EW        | EW        | EW        | EW        | EW                      | %   | EW                      | %   |
| 2.221.700 | 2.027.700 | 1.842.800 | 1.670.800 | 1.492.100 | -378.900                | -17 | -729.600                | -33 |

<sup>1</sup> Daten nach Thüringer Landesamt für Statistik 2010, [www.tls.thueringen.de](http://www.tls.thueringen.de).

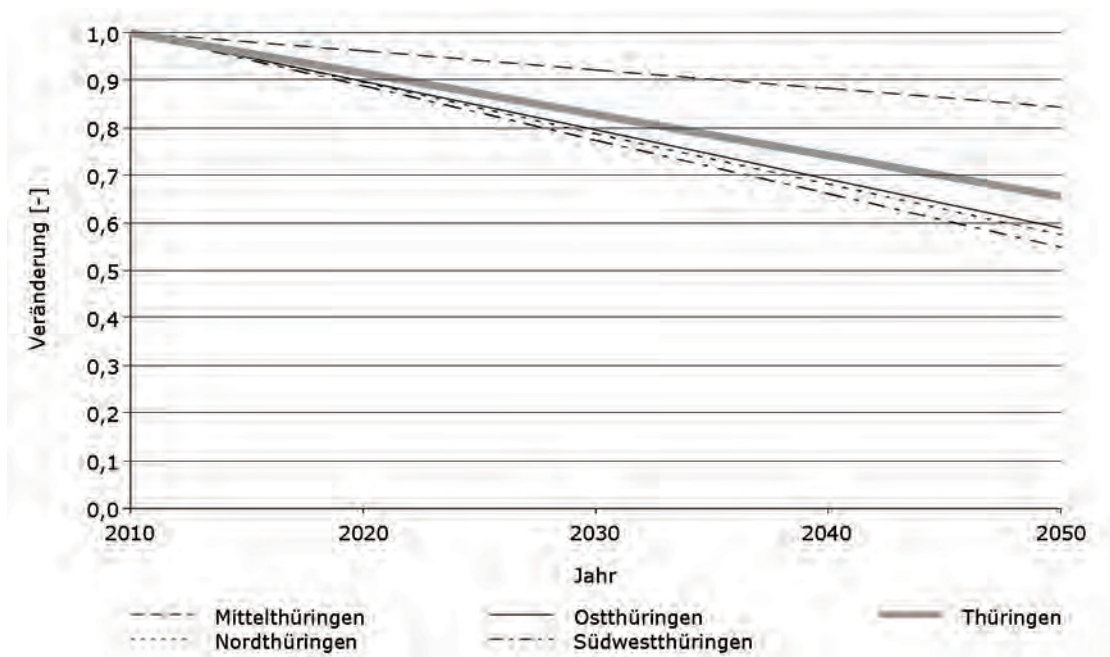


Abb. 2 Demographische Entwicklung in Thüringen und in den vier Planungsregionen (Daten nach Thüringer Landesamt für Statistik 2010, [www.tls.thueringen.de](http://www.tls.thueringen.de)).

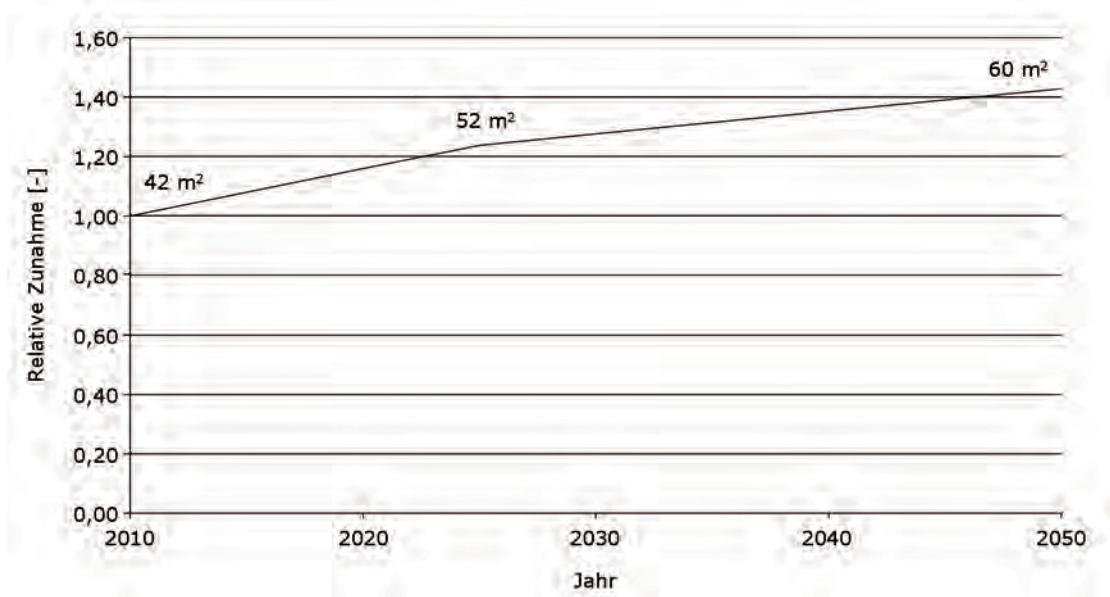


Abb. 3 Relative Zunahme des Pro-Kopf-Wohnflächenbedarfs in Ostdeutschland nach empirica (2005) bis 2025. Es wird ein maximaler Pro-Kopf-Wohnflächenbedarf von 60 Quadratmetern bis zum Prognosehorizont angenommen.

Der Pro-Kopf-Wohnflächenbedarf betrug in 2010 42 Quadratmeter und wird voraussichtlich zunehmen (Abb. 3). Die Entwicklung der Pro-Kopf-Wohnfläche in Thüringen innerhalb der nächsten 15 Jahre wurde mit Hilfe der für Ostdeutschland vorausgesagten Entwicklung abgeschätzt (empirica 2005). Insgesamt wurde davon ausgegangen, dass der Pro-Kopf-Wohnflächenanteil 60 Quadratmeter nicht übersteigt. Dies führt zu einer Verlangsamung der Wohnflächenzunahme ab 2025 (Knick). Für den Zeitraum 2025 bis 2050 wurde der Verlauf der Kurve extrapoliert.



### 3.6 Energieinfrastruktur in Thüringen

Thüringen stellt einen Knotenpunkt in der Übertragung der erneuerbar bereitgestellten Energie im Nordosten Deutschlands zu den Ballungszentren im Südwesten dar. Hier besteht besonders im Hochspannungsbereich ein großer Ausbaubedarf.

Laut der dena-Netzstudie II (dena 2010) werden in Deutschland je nach gewähltem Szenario zwischen 1700 und 3600 Kilometer neue 380-kV-Trassen benötigt, um die zunehmende Einspeisung erneuerbarer Energien bei steigender Übertragungsentfernung transportieren zu können. Aber auch lokal ist das derzeitige Energienetz nicht auf die zunehmende Dezentralisierung der Stromerzeugung ausgerichtet. Besonders in Netzabschnitten mit größeren Photovoltaik- und Windenergieanlagen kommt es durch die schwankende Stromeinspeisung zu steigenden Netzbelastungen, die zunehmend in der Mittel- und Niederspannungsebene einen Netzausbau erforderlich machen. Auf Grundlage der derzeitigen Entwicklung wird die Netzbelastung angesichts der langwierigen Planungs- und Genehmigungsverfahren des notwendigen Netzausbaus und wegen des steigenden Anteils der erneuerbaren Energien in den nächsten Jahren noch zunehmen.

Für die Integration des Stroms aus erneuerbaren Energiequellen in das Übertragungsnetz gewinnen Maßnahmen zum Ausgleich der Schwankungen immer mehr an Bedeutung. Hierzu werden ein intelligentes Energiemanagement und der Ausbau der Energiespeicherkapazitäten im Stunden- bis Wochenbereich benötigt. Für Thüringen kommen als Speicher für überschüssige Strommengen Pump- und Druckluftspeicherkraftwerke, Methanisierung sowie Brennstoffzellen für den größeren Leistungsbereich in Frage, wobei nur die Pumpspeichertechnologie kommerziell zur Anwendung kommt, da die weiteren Verfahren noch sehr kostenintensiv sind oder sich im Erprobungsstadium befinden. Die Speicherung mittels Akkumulatoren oder Schwungradspeichern ist eher für kleinere Dimensionen, wie die Versorgung kleinerer Unternehmen, öffentlicher Einrichtungen oder privater Haushalte geeignet.

Wärmenetze sind im Vergleich zum Stromnetz aufgrund hoher Transportverluste auf verdichtete Siedlungsbereiche angewiesen. In ländlichen Regionen werden Nahwärmenetze daher nur gebaut, wenn durch nahe gelegene Endverbraucher eine genügend große Wärmemenge abgenommen wird.

Das Gasnetz erstreckt sich in alle Gebiete Thüringens und bietet sowohl die Möglichkeit der getrennten Strom- und Wärmeerzeugung, als auch zusammen in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK-Anlagen). Ein Ausbau des Gasnetzes im Rahmen erneuerbarer Energien erfolgt an Standorten von Biogasanlagen mit Biogasaufbereitung, sofern ein Anschluss an das bestehende Gasnetz oder die Umsetzung in verbrauchernahen KWK-Anlagen möglich ist.



## 4 Zukunftsszenarien

### 4.1 Zusammenfassung

Die ambitionierten Ziele der Landesregierung lassen sich auf verschiedenen Wegen erreichen. Es werden drei Szenarien vorgestellt, wie sich diese Ziele mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten realisieren lassen. Die Szenarien hängen von einer Vielzahl von Faktoren und Maßnahmen ab, die als „Stellschrauben“ näher definiert werden.

Grundlage der Zukunftsplanung ist die Definition von Energie- und Klimazielen. Thüringen positioniert sich vor der Kulisse der internationalen und europäischen Energie- und Klimaziele. Mehr noch: Der Freistaat will eine Vorreiterrolle einnehmen. Bis 2020 sollen die klimaneutralen erneuerbaren Energien 45 Prozent des Nettostromverbrauchs decken. Ihr Anteil am gesamten Energieverbrauch (Strom, Wärme, Treibstoffe) soll dann 30 Prozent betragen.

Thüringen will treibende Kraft bei der deutschen Energie- und Klimawende werden. Die folgenden Zukunftsszenarien zeigen verschiedene Wege auf, um diese Ziele zu erreichen.

### 4.2 Referenzszenario

Im Referenzszenario wird ein *Business as Usual*-Verhalten modelliert. Bis auf die Nutzung der Windkraft gibt es kaum eine auf Thüringen angepasste Strategie. Vielmehr wird bei der Nutzung des Solarpotenzials (Sonnenkollektoren, Photovoltaik) und bei wärmepumpengestützten Anlagen (Erdwärme, Umweltwärme) der bundesdeutsche Trend übernommen. Dies betrifft im Wesentlichen die zu erwartenden Verordnungen zur Energieeinsparung und eine mäßige, preisgetriebene Einführung erneuerbarer Energien. Es gibt kaum Impulsprojekte und wenig konzentrierten Aktionen.

In Anlehnung an das „Modell Deutschland“ wird das ebenfalls als Referenzszenario bezeichnete Grundszenario angenommen (Prognos & Ökoinstitut 2009: 52-53). Danach wird das Integrierte Energie- und Klimaprogramm (IEKP) kontinuierlich weitergeführt und ausgebaut, die Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien über das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und die Förderangebote für Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) fortgeführt. Energieversorgungsunternehmen (EVU) werden verstärkt Anstrengungen unternehmen, gemeinsam mit ihren Kunden Effizienzpotenziale zu heben. In den Sektoren private Haushalte und Dienstleistungen gewinnen Wärmepumpen weiter an Bedeutung. Die Energieverbrauchs-Kennzeichnung (*Labelling*) wird verschärft, intelligente Stromzähler werden eingeführt (*Smart Metering*). Es werden keine technologischen Sprünge erwartet, aber eine stetige moderate Effizienzsteigerung in allen Bereichen des Energieverbrauchs, die im Wesentlichen durch Leistungserhöhung und weitere Nutzungsverstärkung kompensiert werden.

### 4.3 Ambitioniertes Szenario

Im ambitionierten Szenario wird eine auf Thüringen angepasste Strategie der Reduktion der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern simuliert. Die Reduktionsstrategie geht einher mit dem deutlichen Ausbau erneuerbarer Energien und einer erheblichen Senkung der Emissionen von Treibhausgasen. Bis zum Prognosehorizont (2050) wird die Hälfte des regenerativen Potenzials im Stadtraum ausgeschöpft. Die Potenziale der Wind-, und Wasserkraft sowie der Biomasse werden bis zum Jahr 2050 vollständig ausgeschöpft. Dabei wird dem Bestands- und Denkmalschutz im Landschaftsraum den Aspekten der Ökologie und des Landschaftsbildes Rechnung getragen.

Weiterhin wird im ambitionierten Szenario das im „Modell Deutschland“ als Innovationsszenario bezeichnete Modell angewendet (Prognos & Ökoinstitut 2009:169-171). Danach greift striktes Ordnungsrecht mit hohen Vollzugstandards. Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien wird mit dem Ziel der Vollversorgung gefördert und die Mechanismen des Strommarkts so umgebaut, dass die Erneuerbaren reguläre Marktteilnehmer sind. Technologische Neuerungen werden berücksichtigt. Die Effizienz zur Bereitstellung von Warmwasser und Prozesswärme sowie die Nutzung von Brennstoffen werden deutlich erhöht. Die Effizienz- und Ausbaumaßnahmen stimulieren regionale Wertschöpfungspotenziale und schaffen Arbeitsplätze.

Um den Effekt der Einführung regenerativer Energien zum einen und der Realisierung von Effizienzmaßnahmen beim Energieverbrauch zum anderen deutlich zu machen, wird das ambitionierte Szenario unterteilt in:

- Ambitioniertes Szenario A: Im Vergleich zum Referenzszenario erhöhte Ausschöpfung der regenerativen Energiepotenziale bis zum Prognosehorizont.
- Ambitioniertes Szenario B: Zusätzlich Berücksichtigung von Effizienzmaßnahmen zur Reduktion des Strom-, Wärme- und Treibstoffverbrauchs.

#### **4.4 Exzellenzszenario**

Das Exzellenzszenario unterscheidet sich vom ambitionierten Szenario insofern, dass von einer weiteren Steigerung der Nutzung regenerativer Energien ausgegangen wird. Im Gegensatz zum ambitionierten Szenario werden 90 Prozent der im Stadtraum erzeugbaren Potenziale genutzt. Die Potenziale der Wind- und Wasserkraft sowie der Biomasse werden bis zum Jahr 2050 vollständig ausgeschöpft. Dabei wird auch hier, wie im ambitionierten Szenario, dem Bestands- und Denkmalschutz im Landschaftsraum den Aspekten der Ökologie und des Landschaftsbildes Rechnung getragen.

Wie das ambitionierte Szenario unterscheidet sich auch das Exzellenzszenario in zwei Teilszenarien:

- Exzellenzszenario A: Im Vergleich zum ambitionierten Szenario noch einmal erhöhte Ausschöpfung der regenerativen Energiepotenziale bis zum Prognosehorizont.
- Exzellenzszenario B: Zusätzlich Berücksichtigung von Effizienzmaßnahmen zur Reduktion des Strom-, Wärme- und Treibstoffverbrauchs (wie im ambitionierten Szenario).

Die Abbildung 4 verdeutlicht die Struktur der Szenarien.

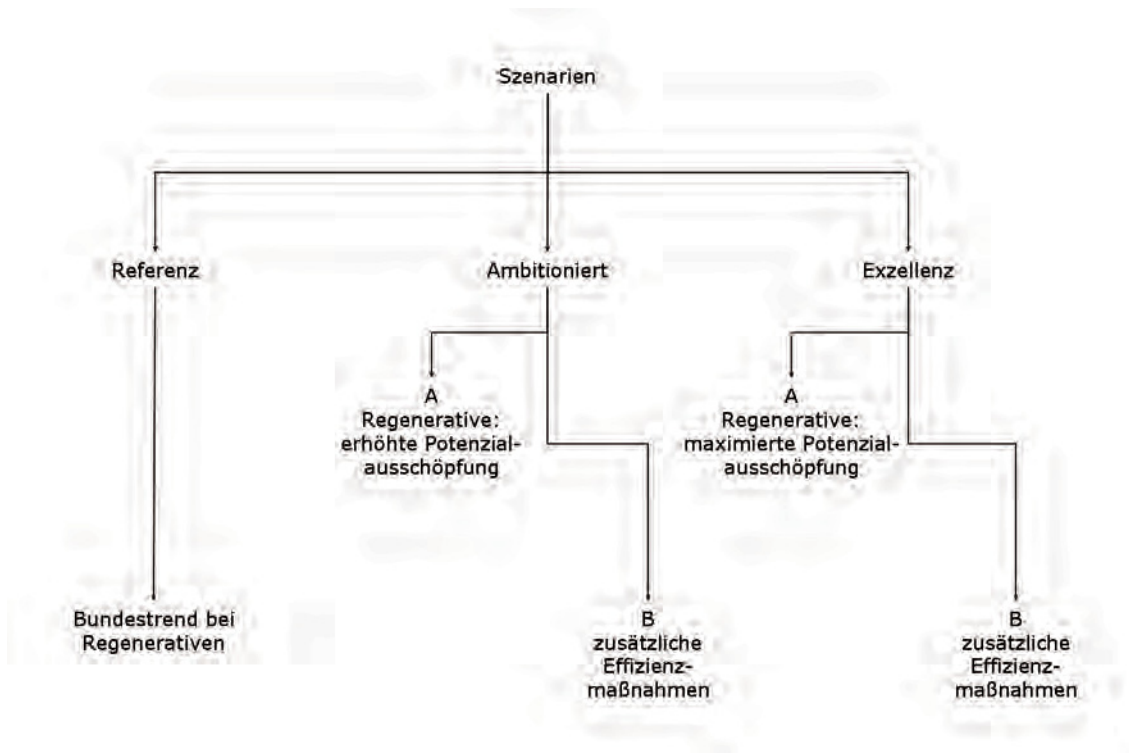


Abb. 4 Struktur der Szenarien (eigene Darstellung).

## 4.5 Stellschrauben

Die Szenarien werden durch Systemelemente des „Energiesystems Thüringen“ gesteuert. Die systemrelevanten „Stellschrauben“ sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Darin sind für die verschiedenen Szenarien Annahmen spezifiziert für:

- die Bevölkerungsentwicklung,
- den Klimawandel,
- die Raumentwicklung,
- die Entwicklung des Energieverbrauchs,
- die Ausschöpfung regenerativer Energiepotenziale,
- Restriktionen bei der Nutzung regenerativer Energien,
- Infrastrukturmaßnahmen.

Im Modell ist es möglich, diese Stellschrauben beliebig zu verändern und ihren Effekt auf den Selbstversorgungsgrad zu untersuchen.

**Tab. 3 Stellschrauben des Energiesystems Thüringen.**

| Eingangswerte/Stellschrauben                          | Referenzszenario  | Ambitioniertes Szenario   | Exzellenzszenario  |   |
|---|---|---|--|---|
| Bevölkerungsentwicklung                               |   |   |  |   |
|   | Prognosen der 12. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung (KBV) (TLS 2010a) für Gesamtthüringen und die vier Planungsregionen.   |   |  |   |
| Klimawandel   |   |   |  |   |
| Temperaturanstieg                                     | Zunahme der mittleren Temperaturen bis 2050 um 1,0 bis 1,5°C (UBA 2008b).   |   |  |   |
| Zunahme des Kältebedarfs                              | Für die Siedlungsraumtypen XI (Zweckbaukomplexe) und X-M (Gewerbe in Mischgebieten) wird aufgrund des Klimawandels eine Zunahme des Klimatisierungsbedarfs angenommen.  |   |  |   |
| Raumentwicklung                                       |   |   |  |   |
| Flächenentwicklung                                    | Keine signifikante Veränderung des Wohnbauflächenanteils aufgrund der demographischen Entwicklung, Nachverdichtungsgebot.<br><br>Belegungsgrad der Gewerbe- und Industrieflächen von derzeit ca. 80% auf 100% bis 2050 (lineare Zunahme). |   |  |   |
| Entwicklung der durchschnittlichen Wohnflächen pro EW | Extrapolation der prognostizierten Entwicklung nach empirica (2005).  |   |  |   |
| Langfristige Entwicklung des Energieverbrauchs        |   |   |  |   |
| Gebäudesanierungsrate                                 | 1% für alle SRT1.   | 2% für SRT1 V, VI, VII, VIII.<br><br>3% für SRT1 XI.  |  |   |
| Energiestandard Sanierung und Neubau                  | Entsprechend den in den Wärmeschutz- und Energieeinsparverordnungen (WärmeschutzV, EnEV) vorgegebenen Werten und deren Extrapolation als Funktion der Zeit.   |   |  |   |
| Warmwasser/ Prozesswärme/ Strom/ Treibstoffe          | Referenzszenario der Studie „Modell Deutschland“ (Prognos & Ökoinstitut 2009).  | Innovationsszenario der Studie „Modell Deutschland“ (Prognos & Ökoinstitut 2009).                                     |  |   |
| Mobilität   | Referenzszenario der Studie „Modell Deutschland“ (Prognos & Ökoinstitut 2009).  | Innovationsszenario der Studie „Modell Deutschland“ (Prognos & Ökoinstitut 2009).                                     |  |   |
| Regenerativen Energien                                |   |   |  |   |
| Integriert in oder assoziiert mit dem Gebäude         | Photovoltaik (Dach- und Fassade)  | Realisiert in allen SRT1 außer SRT I.   |  |   |
|   |   | Zunahme nach Leitstudie 2010 (BMU 2010).  | Ausschöpfung von 50% des Potenzials bis 2050.  | Ausschöpfung von 90% des Potenzials bis 2050. |
|   | Sonnenkollektoren (Dach- und Fassade)   | Als dezentrale Warmwasserbereitstellung realisiert in den wenig verdichteten SRT1 IV und IX sowie zu 50% in V und XI. |  |   |
|   |   | Zunahme nach Leitstudie 2010 (BMU 2010).  | Ausschöpfung von 50% des Potenzials bis 2050.  | Ausschöpfung von 90% des Potenzials bis 2050. |
|   | Abwasserwärme (Wärmepumpen)   | Nicht genutzt   | Als dezentrale Warmwasserbereitstellung realisiert zu 50% in den verdichteten SRT1 II und III und zu 75% in der SRT VI, VII, VIII. |   |
|   |   |   | Ausschöpfung von 50% des Potenzials bis 2050.  | Ausschöpfung von 90% des Potenzials bis 2050. |
|   | Umgebungswärme (Wärmepumpen)  | Nicht berücksichtigt, ersatzweise angenommen in Grundwasserschutzzonen (keine Erdwärmesonden).                        |  |   |
|   | Erdwärmesonden (Wärmepumpen)  | Als dezentrale Heizwärmebereitstellung realisiert zu 50% in SRT IV, V und XI und zu 100% in SRT IX.                   |  |   |
| Zunahme nach Leitstudie 2010 (BMU 2010).              |   | Ausschöpfung von 50% des Potenzials bis 2050.   | Ausschöpfung von 90% des Potenzials bis 2050.  |   |

<sup>1</sup>Siedlungsraumtyp.

| Eingangswerte/Stellschrauben                            |  | Referenzszenario  | Ambitioniertes Szenario   | Exzellenzszenario   |     |
|---|--|---|---|---|-----|
| Einzelanlagen (Kraftwerk, Heizkraftwerke, Energieparks) | PV-Freiflächen-anlagen                       | Kein weiterer Ausbau außer auf Brachflächen, Deponien etc. (Detailstudie).  |   |   |     |
|   | Wind   | Potenzialfläche   |   |   |     |
|   | Flächen/Standort                             | Bau von Anlagen nur in Wind-vorranggebieten der aktuellen Regionalpläne und Konzentrationsflächen für Repowering<br><br>Ermittlung der regionalen Größe von „Konzentrations-flächen Repowering“ durch Bestimmung der Flächenbe-darfe für ersetzte Altanlagen die älter 15 Jahre sind und nicht in bestehenden Vor-rangflächen stehen; Annah-me: Flächenbedarf 3ha/MW Zuordnung dieser Fläche zu Planungsregionen  | Windhöffige Gebiete unter Beachtung der generellen Restriktionsflächen und bestehender Abstandsregelungen<br><br>Einbeziehung von Waldflächen ohne Schutzstatus   | Windhöffige Gebiete unter Be-achtung der generellen Restrik-tionsflächen und bestehender Abstandsregelungen, aber zusätzliche Lockerung der Res-triktionen Wasserschutzzonen, Landschaftsschutzgebiete und Naturparks<br><br>Einbeziehung Waldflächen ohne Schutzstatus   |     |
|   | Ausbaurate                                   | Bestückung der Konzentrati-onsfläche mit 3 MW Anlagen<br><br>Austausch der Anlagen älter 15 Jahre in den bestehenden Vorrangflächen durch 3 MW Anlagen<br>Die Anlagen, die nach 2005 errichtet wurden befinden sich 2020 noch im Bestand und werden in den Folgejah-ren ausgetauscht<br>Zubau auf noch freier Vor-rangfläche mit einer Anlagen-größe von 3 MW<br>Annahme Flächenbedarf 3 MW-Anlage: 9 ha<br>Volllaststundenzahl von durchschnittlich 1600 h/a | Maximale Potenzialaus-schöpfung bis 2050<br><br>Keine gesonderte Auswei-sung von Repoweringpoten-zialen, da die vollständige Ausnutzung der bestehenden und ermittelten zusätzlichen Potenzialfläche die Annahme beinhaltet, dass ältere Anla-gen ausgetauscht werden<br><br>Der Zubau bis 2020 erfolgt mit Anlagen der 3 MW-Klasse<br><br>Ab 2020 wird angenommen, dass der Zubau mit 4 MW-Anlagen erfolgt<br><br>Volllaststundenzahl bis 2020 von durchschnittlich 1800 h/a, ab 2020 2000 h/a | Maximale Potenzialausschöp-fung bis 2050<br><br>Keine gesonderte Ausweisung von Repoweringpotenzialen, da die vollständige Ausnutzung der bestehenden und ermittelten zusätzlichen Potenzialfläche die Annahme beinhaltet, dass ältere Anlagen ausgetauscht werden<br><br>Der Zubau bis 2020 erfolgt mit Anlagen der 3 MW-Klasse<br><br>Ab 2020 wird angenommen, dass der Zubau mit 4 MW-Anla-gen erfolgt<br><br>Volllaststundenzahl bis 2020 von durchschnittlich 1800 h/a, ab 2020 2000 h/a |     |
|   | Wasser                                       | Steigerung des Ertrags um 10% bis 2050 für Anlagen ≥ 1,0MW<br>Steigerung des Ertrags um 20% bis 2050 für Anlagen < 1,0MW<br>Nicht spezifizierbares Zusatzpotenzial s. Abschnitt 6.3   |   |   |     |
|   | Biomasse <sup>2</sup>                        | Annahmen zu den Flächenanteilen an der Gesamttacker- und Grünfläche   |   |   |     |
|   |  | Acker   | 20%   | 25%   | 30% |
|   |  | Grünland  | 10%   | 10%   | 10% |
|   |  | Annahmen zur nutzbaren Menge Wirtschaftdünger   |   |   |     |
|   |  | 65%   | 65%   | 65%   |     |
|   |  | Annahmen zum Nutzungsgrad des bergbaren Strohanteils  |   |   |     |
|   |  | 40%   | 50%   | 60%   |     |
|   |  | Annahmen zur Steigerung des Holzpotenzials im Vergleich zur heutigen Nutzung  |   |   |     |
|   | 0%   | 10%   | 25%   |   |     |
|   | Annahmen zur Steigerung des Biogaspotenzials |   |   |   |     |
|   | 0%   | 20%   | 20%   |   |     |

|   |                  |  |  |  |
|---|------------------|--|--|--|
|   | Tiefengeothermie | Geothermische Heizkraftwerke   |  |  |
|   |                  | 1 bis 2020   | 1 bis 2020<br>2 bis 2030<br>3 bis 2040<br>5 bis 2050 | 2 bis 2020<br>4 bis 2030<br>5 bis 2040<br>6 bis 2050 |
| Restriktionen   |                  |  |  |  |
| Photovoltaik / Solarthermische Anlagen                              |                  | Maximalpotenziale ermittelt auf der Basis der solaren Gütezahlen nach Everding (2004, 2007, angepasst) unter Berücksichtigung städtebaulicher Einschränkungen.                                       |  |  |
| Erdwärmesonden  |                  | In Restriktionszonen nicht erlaubt. Es wird davon ausgegangen, dass in Trinkwasserzone III eine Nutzung nicht generell untersagt ist. Im Verbotsfall wird die Nutzung von Umgebungswärme angenommen. |  |  |
| Infrastrukturmaßnahmen  |                  |  |  |  |
| Ausbau von Wärmenetzen  |                  | Detailanalyse erforderlich.  |  |  |
| Potenziale auf Brachflächen und entlang der Autobahnen/Schienenwege |                  | Detailstudie erforderlich.   |  |  |

<sup>1</sup>SRT Siedlungsraumtypen (I Vorindustrielle Altstadt, II Innerstädtische Baublöcke der Gründer- und Vorkriegszeit, III Wiederaufbauensembles der 1950er Jahre, IV Dörfliche und kleinteilige Strukturen, V Werks- und Genossenschaftssiedlungen der Gründer- und Vorkriegszeit, VI Siedlungen des sozialen Wohnungsbaus, VII Hochhäuser und Plattenbauten, VIII Geschosswohnungsbau seit den 1960er Jahren, IX Einfamilienhausgebiete, X Gewerbe- und Industriegebiete, XI Zweckbau, X-M Gewerbe in Mischgebieten); <sup>2</sup>Potenzialberechnung in Anlehnung an die Studie der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL 2010).

## 5 Energie – Grundlagen

### 5.1 Zusammenfassung

Im Potenzialatlas werden Energiesektoren und Bedarfsarten unterschieden.

Sowohl der Energieverbrauch als auch die Energieressourcen werden auf die Fläche bezogen. Das Energiemodell arbeitet also mit einem flächenbezogenen Ansatz. Zur räumlichen Erfassung und Projektion des Energiebedarfs und -potenzials wird das Modellgebiet in energetische Homogenbereiche eingeteilt.

Der Energieverbrauch lässt sich durch Effizienz und Suffizienz reduzieren. Auf die freiwillige Selbsteinschränkung (Suffizienz) wird im Energiemodell nicht eingegangen. Bei der Energieeffizienz werden sowohl bundesdeutsche Trends als auch thüringische Vorgaben (Sanierungsraten) berücksichtigt. Dabei werden alle Energiesparten (Strom, Wärme und Treibstoffe) betrachtet.

Bei der regenerativen Energieerzeugung werden nur ausgereifte und machbare Technologien betrachtet. Sie betreffen die Stromerzeugung (Sonne, Wind, Wasser, Biomasse, Tiefengeothermie), die Wärmebereitstellung (Sonne, Umgebungswärme, Abwasserwärme, Biomasse, Tiefengeothermie) und Treibstoffe (Biomasse).

### 5.2 Energiesektoren und Energieformen

Bei der Bestimmung des Energiebedarfs und der erneuerbaren Energiepotenziale wird zwischen drei Energiesektoren unterschieden:

- Wohnen,
- Arbeiten,
- Mobilität.

In dieser Studie werden die Energiesektoren durch Verbrauchergruppen vertreten. Dabei wird der Energiesektor „Wohnen“ von den Haushalten repräsentiert und der Energiesektor „Arbeiten“ von den Fraktionen „Gewerbe-Handel-Dienstleistung“ (GHD) und „Industrie“ (Abb. 5). Jeder dieser Sektoren verfügt über räumliche Ressourcen, die er zur Energieerzeugung nutzen kann.

Die drei Energiesektoren fragen Energie in unterschiedlicher Weise ab. Dabei unterscheiden wir grundsätzlich zwischen

- Wärme (bedarf),
- Strom (bedarf),
- Treibstoff (bedarf).

Der Wärmebedarf wird noch einmal unterschieden in Heizwärmebedarf, Warmwasser- und Prozesswärmebedarf. Treibstoffe werden überwiegend im Sektor „Mobilität“ genutzt. Abbildung 6 veranschaulicht die gewählte Einteilung mit einem Organigramm.

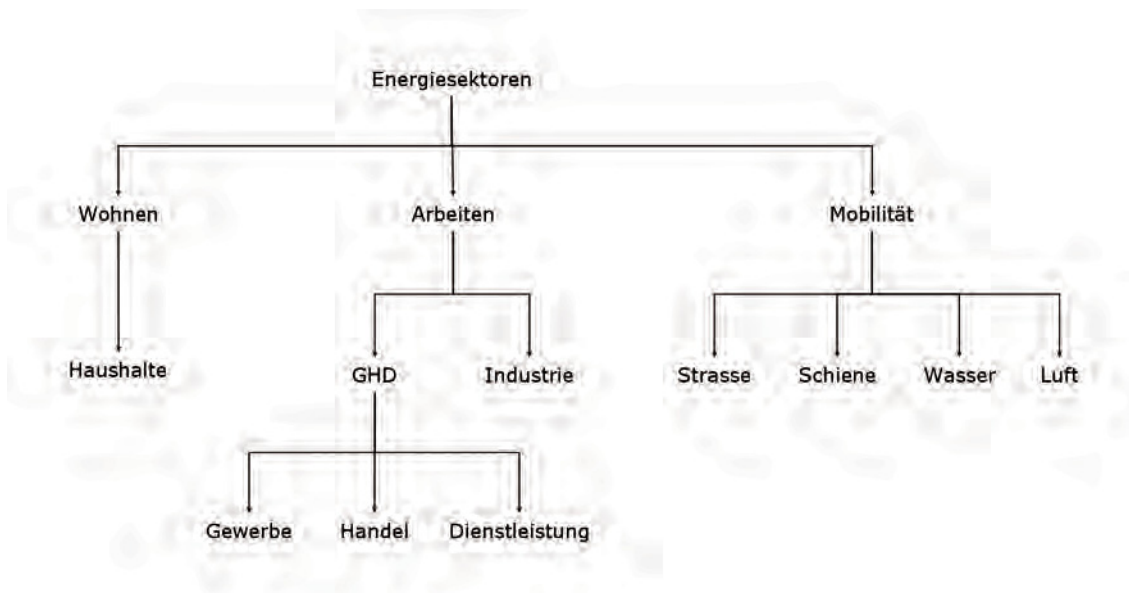


Abb. 5 Die Unterteilung der Energiesektoren (eigene Darstellung).

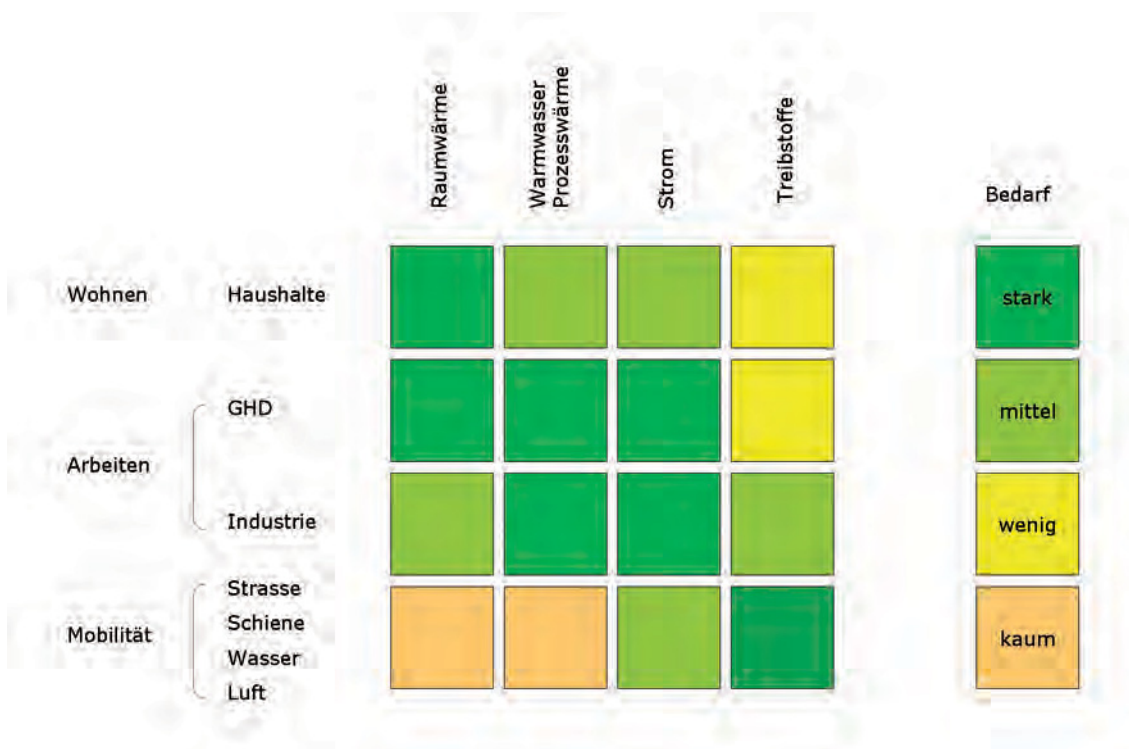


Abb. 6 Die Energiebedarfsmatrix (eigene Darstellung).



## 5.3 Energieflächen

### 5.3.1 Energie- und Flächenpotenziale

Das Potenzial erneuerbarer Energien wird in dieser Studie grundsätzlich mit dem Flächenpotenzial assoziiert. Dabei folgt unser Ansatz der Erkenntnis, dass für die Nutzung der Energiepotenziale Flächen vorhanden sein müssen. Eine Windkraftanlage zum Beispiel wird auf Vorrangflächen errichtet. Photovoltaik-Anlagen werden auf Dächern, Fassaden und Freiflächen errichtet. Biomasse erfordert Anbauflächen. Selbst Wasserkraftanlagen sind abhängig vom Einzugsbereich des genutzten Wasserlaufes.

Insofern steht zunächst im Vordergrund die Flächenressourcen Thüringens zu identifizieren, zu quantifizieren und schließlich in ihrer ökonomischen Wirkung zu bilanzieren. Durch eine geschickte Kombination der Flächenpotenziale mit den vielfältigen Optionen der erneuerbaren Energieerzeugung ist dies möglich.

Die verschiedenen Optionen der regenerativen Energieerzeugung unterscheiden sich hinsichtlich ihres Flächenbedarfs. Eine Option der Energieerzeugung ist – im Sinne einer nachhaltigen Raumplanung – umso effizienter je weniger Fläche sie verbraucht. Dabei ist zu unterscheiden zwischen direktem und indirektem Flächenbedarf. Der direkte Flächenbedarf entspricht dem Bedarf an Fläche während der Energieproduktion (Abb. 7, 8) (BBR/BBSR & BMVBS 2009b). Der indirekte Flächenbedarf entspricht dem Bedarf an Fläche zur Produktion, Installation, Demontage und Entsorgung der Anlage. In dieser Studie wird nur der direkte Flächenbedarf betrachtet.

Weiterhin ist zwischen exklusivem und nicht exklusivem Flächenbedarf zu unterscheiden. Energiepflanzen haben einen exklusiven Flächenbedarf, denn die Fläche dient ausschließlich der Energieerzeugung und steht für eine weitere Nutzung nicht mehr zur Verfügung. Im Gegensatz dazu stellt eine PV-Dachanlage eine nicht exklusive Nutzung dar. Hier handelt es sich um ein Dach inklusive einer PV-Anlage. Darüber hinaus lösen bestimmte Möglichkeiten der regenerativen Energieerzeugung erhebliche Stoffströme aus, die wiederum mit einem Flächenverbrauch einhergehen. Die Transformation von Biomasse in Energie ist beispielsweise eine flächenintensive Form der erneuerbaren Energieerzeugung.

Die Abbildungen 7 und 8 veranschaulichen den Flächenbedarf regenerativer Energieoptionen (Strom und Wärme) und assoziieren sie mit den Energiegestehungskosten. Zum Beispiel liegen diese bei einer Kilowattstunde Photovoltaik-Strom heute bei etwa 0,30 Euro pro Kilowattstunde (obere Grenze der PV in Abbildung 7). 2050 wird die Kilowattstunde nur noch etwa 0,09 Euro pro Kilowattstunde kosten. Der Flächenbedarf zur Erzeugung einer Gigawattstunde pro Jahr ist bei Freiflächenanlagen etwa 0,8 Hektar. Im Stadtraum ist er deutlich höher (bis zu knapp 10 Hektar), da hier nur Dach- und Fassadenflächen zur Verfügung stehen.

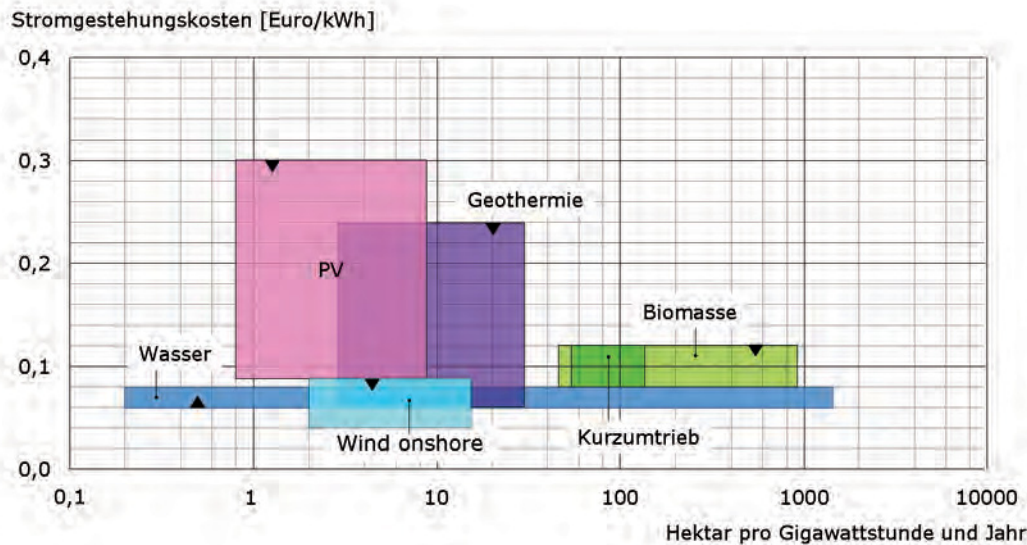


Abb. 7 Raumbedarf zur Erzeugung einer Gigawattstunde Strom pro Jahr und Stromgestehungskosten heute und 2050 (BBR/BBSR & BMVBS 2009b, BMU 2010, eigene Untersuchungen). Die aktuellen und die für 2050 erwarteten Gestehungskosten markieren die obere und untere Begrenzung der dargestellten Rechtecke, die schwarzen Dreiecke die Kostenentwicklung (Preisbasis 2009 bei 6 Prozent realem Zinssatz, Basisszenario A der Leitstudie 2010 des BMU). Das Spektrum der Flächeneffizienz wird durch die linke und rechte Begrenzung markiert. Bei der solaren Nutzung werden auch dezentrale Anlagen im urbanen Raum betrachtet (großer Flächenbedarf).

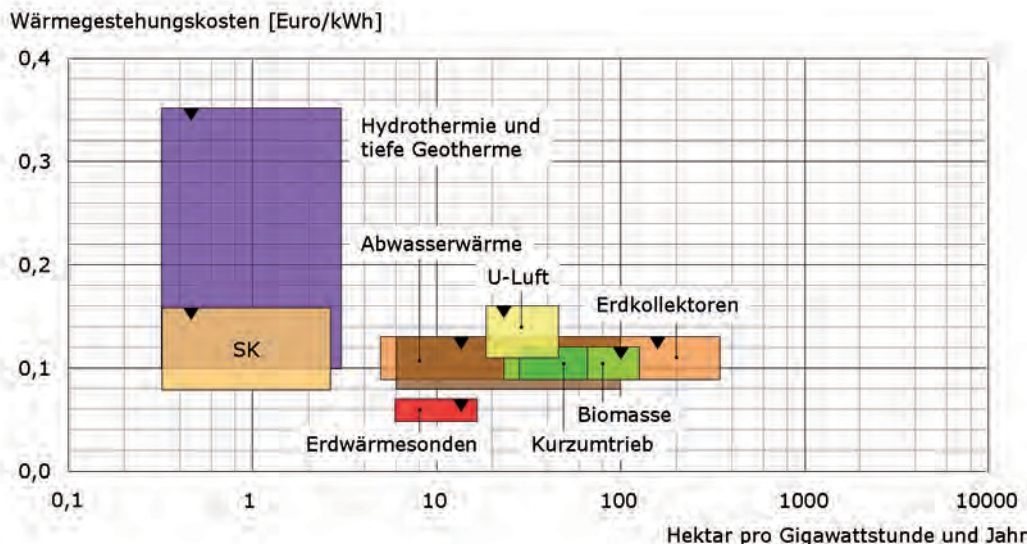


Abb. 8 Raumbedarf zur Erzeugung einer Gigawattstunde Wärme pro Jahr und Wärmegestehungskosten heute und 2050 (BBR/BBSR & BMVBS 2009b, BMU 2010, eigene Untersuchungen). Die aktuellen und die für 2050 erwarteten Gestehungskosten markieren die obere und untere Begrenzung der dargestellten Rechtecke, die schwarzen Dreiecke die Kostenentwicklung (Preisbasis 2009 bei 6 Prozent realem Zinssatz, Basisszenario A der Leitstudie 2010 des BMU). Das Spektrum der Flächeneffizienz wird durch die linke und rechte Begrenzung markiert. Bei der solaren Nutzung werden auch dezentrale Anlagen im urbanen Raum betrachtet (großer Flächenbedarf).

### 5.3.2 Energetische Homogenbereiche

Zur Ermittlung des Energieverbrauchs und der regenerativen Potenziale wird Thüringen in energetische Homogenbereiche eingeteilt. Dabei handelt es sich um Bereiche, die vergleichbar sind hinsichtlich ihres Energieverbrauchs aber auch hinsichtlich ihrer Begabung, selbst regenerativ Energie zu erzeugen. Ursprünglich geht die Prototypisierung von Siedlungsräumen auf die (bereits erwähnte) Studie „Leitbilder und Potenziale eines solaren Städtebaus“ (Ecofys et al. 2004; Everding et al. 2004; Everding 2007) zurück. Sie wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „Nutzung städtischer Freiflächen für erneuerbare Energien“ (BBR/BBSR & BMVBS 2009b) angepasst und weiterentwickelt.

Die Unterteilung des Siedlungsraumes folgt städtebaulichen Leitbildern, die für die jeweilige Epoche den Baustandard definierten. Der Siedlungsraumtyp spiegelt somit die zu jener Zeit geltenden Baubestimmungen und Heiznormen wieder. Zwar folgen alle Siedlungsraumtypen Sanierungszyklen, doch orientieren sich die Sanierungsziele ebenfalls am Bestand, der charakteristische Sanierungsmaßnahmen vorbestimmt. Auf dieser Grundlage lässt sich ein typischer Energiebedarf für alle Siedlungsraumtypen abschätzen.

Auch hinsichtlich der Nutzung regenerativer Energie unterscheiden sich die Stadträume in charakteristischer Weise. So haben gründerzeitliche Bauwerke aufgrund ihrer Dachformen eine eingeschränkte solare Begabung. Ihre Fassaden sind mit Blick auf den Denkmalschutz oft von einer solaren Nutzung ausgeschlossen. Im Gegensatz dazu lassen sich bei Hochhäusern sowohl Dächer als auch Fassaden solar besser nutzen. Bei anderen Formen der regenerativen Energieerzeugung lassen sich ähnliche siedlungsraumtypische Potenziale definieren, worauf bei der Potenzialermittlung (Kap. 7) noch eingegangen wird.

Auch die Landschaftsräume werden in energetische Homogenbereiche eingeteilt. So hat der Raumtyp Wald einen spezifischen Energieverbrauch (Waldpflege) aber auch eine spezifische Begabung, regenerativ Energie zu erzeugen (Waldpflegeholz).

Nicht nur der Energiebedarf und das Potenzial zur Erzeugung erneuerbarer Energie sind prototypisch, auch die Emissionen von Treibhausgasen lassen sich über die Siedlungs- und Landschaftsraumtypen systematisieren. Mit ihnen ist eine in sich geschlossene Strategie der Energie- und Klimagasbilanzierung möglich.



Abb. 9 Beispielhafte Darstellung der stadt- und landschaftsraumtypischen Einteilung eines Modellraumes (Schmalkalden).

Abbildung 9 zeigt beispielhaft einen Modellraum in Thüringen (Schmalkalden), eingeteilt in Siedlungs- und Landschaftsräume. Der Altstadtbereich und die gründerzeitliche Stadterweiterung sind gut erkennbar. Auch die Gewerbegebiete und die ausufernden Einfamilienhausgebiete fallen ins Auge. Dominiert wird der Kartenausschnitt jedoch von dörflichen und kleinteiligen Strukturen sowie den Freiräumen (Wald, Wiese, Acker).

Die einzelnen Siedlungsraumtypen werden den Energiesektoren zugeordnet. Dem Energiesektor Haushalte werden die Siedlungsraumtypen I bis IX, den Energiesektoren GHD und Industrie (GHDI) werden die Siedlungsraumtypen X und XI zugeordnet. Dem Energiesektor Mobilität werden die Verkehrsflächen (Straßen, Parkflächen, Schienen) zugeordnet, die eine Teilmenge von Siedlungsraumtyp XIV sind.

Zur Erfassung des Anteils des Energiesektors GHD in Mischgebieten (SRT I – IV) wurde ein neuer Siedlungsraumtyp X-M (Gewerbe in Mischgebieten) eingeführt. Dabei wird davon ausgegangen, dass in Mischgebieten die Siedlungsraumtypen I (Altstadt), II (Gründerzeit) und III (Wiederaufbau) etwa 25 Prozent Gewerbenutzung, der Siedlungsraumtyp IV (dörfliche und kleinteilige Strukturen) etwa 10 Prozent Gewerbenutzung aufweisen. Die in die Wohnbebauung eingebettete gewerbliche Nutzung wird durch den neuen Siedlungsraumtyp X-M energetisch beschrieben, der sich auf die Gesamtfläche der Mischbebauung bezieht.

In Tabelle 4 sind die absoluten Flächenanteile der im Referenzjahr 2010 kartierten Siedlungs- und Landschaftsräume Thüringens zusammengefasst. Der Anteil der Freiflächen ist in Abbildung 11 dargestellt. Danach nimmt der Siedlungsbereich inklusive Verkehrsflächen, Deponien und Brachflächen etwa 6 Prozent der Landesfläche ein. Ein Drittel der Landesfläche (34 Prozent) ist bestockt bzw. als Grünland ausgewiesen, etwas mehr als die Hälfte wird landwirtschaftlich genutzt (40 Prozent Ackerland und 15 Prozent Wiesenflächen). In Thüringen überwiegen dörfliche und kleinteilige Strukturen (knapp zwei Fünftel der bebauten Fläche) sowie Einfamilienhausgebiete (knapp ein Fünftel der bebauten Fläche). Ebenfalls bedeutend ist der Anteil an Gewerbe- und Industriegebieten (etwa ein Drittel der bebauten Fläche). Die vorindustrielle Bauungsstruktur und die Gründerzeit treten in ihrer Bedeutung zurück. Die Aufteilung der bebauten Fläche Thüringens in verschiedene Siedlungsräume ist in Abbildung 10 noch einmal veranschaulicht.

**Tab. 4 Flächenanteile der im Referenzjahr 2010 ermittelten Stadträume.**

| Nutzung       | SRT <sup>1</sup> | Siedlungsraumtypen   | Bruttoflächen [ha] |               |              |                  |           |
|---------------|------------------|--|--------------------|---------------|--------------|------------------|-----------|
|               |                  |  | Mittelthüringen    | Nordthüringen | Ostthüringen | Südwestthüringen | Thüringen |
| Misch-nutzung | I                | Vorindustrielle Altstadt   | 122                | 178           | 119          | 121              | 540       |
|               | II               | Innerstädtische Bau-<br>blöcke der Gründer-<br>und Vorkriegszeit | 538                | 209           | 372          | 190              | 1.309     |
|               | III              | Wiederaufbauensem-<br>bles der<br>1950er Jahre                   | 3                  | 11            | 6            | 5                | 25        |
|               | IV               | Dörfliche und klein-<br>teilige Strukturen                       | 9.774              | 6.347         | 12.538       | 9.533            | 38.194    |

| Nutzung      | SRT <sup>1</sup> | Siedlungsraumtypen                         | Bruttoflächen [ha] |               |               |                  |               |
|--------------|------------------|--|--------------------|---------------|---------------|------------------|---------------|
|              |                  |  | Mittelthüringen    | Nordthüringen | Ostthüringen  | Südwestthüringen | Thüringen     |
| Wohnen       | V                | Werks- und Genossenschaftssiedlungen       | 126                | 79            | 97            | 60               | 361           |
|              | VI               | Siedlungen des sozialen Wohnungsbaus       | 253                | 130           | 229           | 178              | 789           |
|              | VII              | Hochhäuser und Plattenbauten               | 50                 | 106           | 52            | 50               | 259           |
|              | VIII             | Geschosswohnungsbau seit den 1960er Jahren | 393                | 181           | 338           | 290              | 1.201         |
|              | IX               | Einfamilienhausgebiete                     | 4.210              | 2.974         | 4.907         | 4.195            | 16.287        |
| Gewerbe      | X                | Gewerbe- und Industriegebiete              | 7.788              | 4.292         | 9.074         | 5.808            | 26.963        |
|              | XI               | Zweckbau                                   | 1.612              | 956           | 1.599         | 1.270            | 5.437         |
| Mischgewerbe | X-M              | Gewerbe in Mischgebieten <sup>2</sup>      | 1.143              | 734           | 1.378         | 1.032            | 4.287         |
| <b>Summe</b> |                  |  | <b>26.297</b>      | <b>15.464</b> | <b>30.039</b> | <b>22.461</b>    | <b>94.261</b> |

<sup>1</sup>Siedlungsraumtyp; <sup>2</sup>gewichtetes Mittel aus den SRT I-IV (Gewichtung über Nettobauland).

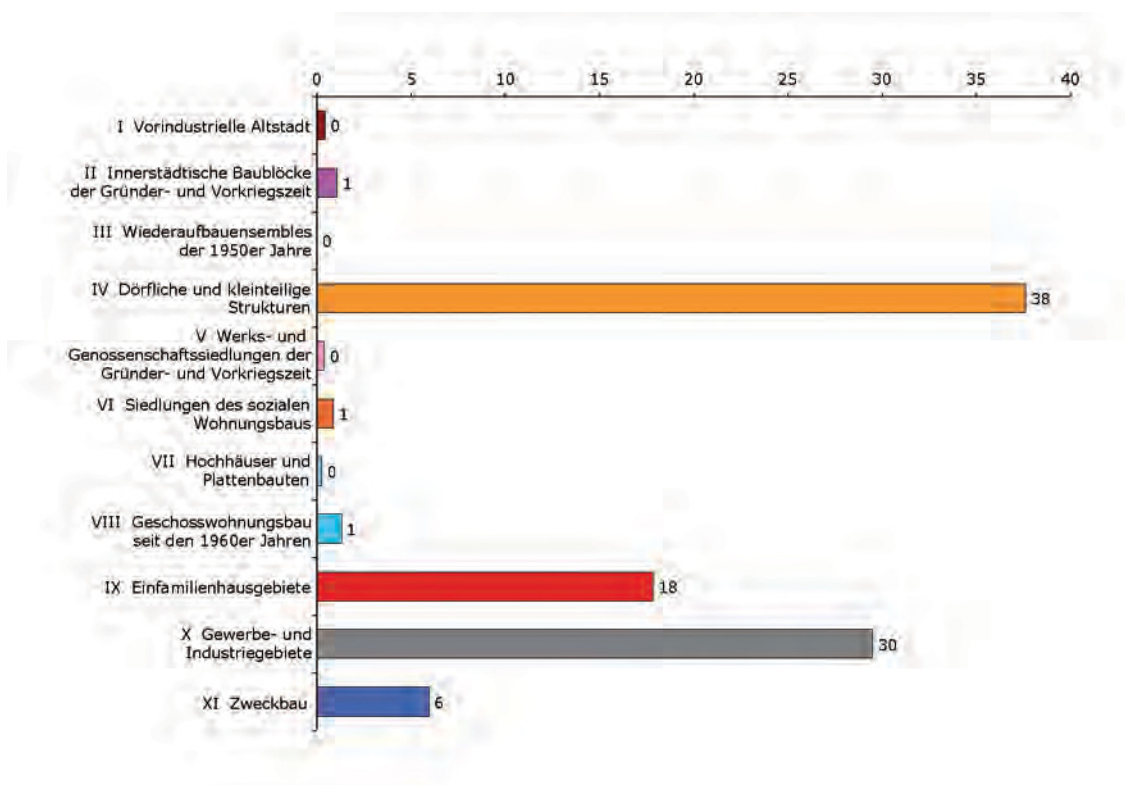


Abb. 10 Aufteilung der bebauten Fläche Thüringens in Siedlungsraumtypen (eigene Berechnung).



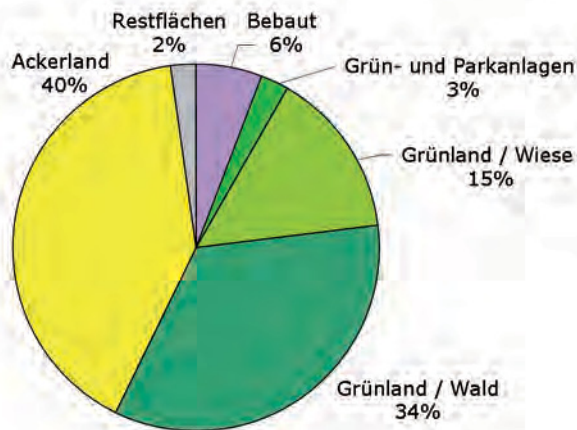


Abb. 11 Relative Verteilung der Siedlungs- und Landschaftsräume (eigene Berechnung).

Aufgrund der Größe des Freistaates Thüringen und der Vielzahl der zu untersuchenden Orte ist eine detaillierte Abgrenzung der Siedlungsraumtypen für jede Ortschaft im Rahmen der Studie nicht möglich. Aus diesem Grund wurde zusätzlich eine Raumkategorisierung vorgenommen, die die einzelnen Orte in vier Kategorien unterteilt.

Der Freistaat Thüringen ist in insgesamt 2.704 Gemarkungen untergliedert. Vereinfachend wurden zunächst die Oberzentren, Mittelzentren und Grund- bzw. Unterzentren abgegrenzt. Die restlichen Gemarkungen wurden in die vierte Kategorie „dörflich“ eingeordnet, sodass insgesamt vier Kategorien gebildet und als Homogenbereiche interpretiert wurden. In Tabelle 5 sind diese gelistet.

Aus diesen vier Kategorien wurden insgesamt 130 Gemarkungen ausgewählt und mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS) untersucht. Die bebaute Fläche wurde in die genannten Siedlungsraumtypen unterteilt. Die Unterscheidung der Siedlungsraumtypen erfolgte durch Betrachtung von Luftbildaufnahmen. Die so ermittelten Anteile der Siedlungsraumtypen an der bebauten Fläche wurden für jede Kategorie gemittelt und auf die nicht detailliert untersuchten Gemarkungen bezogen. Nach dieser Auswertung überwiegen die dörflichen Siedlungsstrukturen deutlich (Karte 2, Kartenwerk).

**Tab. 5** Zuordnung der Gemarkungen in die gewählten Kategorien innerhalb der Landkreise.

| Landkreis        | Kategorie 1<br><br>Oberzentren | Kategorie 2<br><br>Mittelzentren<br>und Ortsteile<br>von Mittelzentren<br>mit verdichteter<br>Siedlungsstruktur | Kategorie 3<br><br>Grundzentren<br>und Ortsteile<br>von Grundzentren<br>mit verdichteter<br>Siedlungsstruktur | Kategorie 4<br><br>dörfliche Siedlungsstruktur |
|------------------|--------------------------------|---|---|--|
| Nordthüringen    | 0                              | 8   | 24  | 377  |
| Mittelthüringen  | 3                              | 6   | 16  | 491  |
| Ostthüringen     | 2                              | 16  | 23  | 1.151  |
| Südwestthüringen | 0                              | 10  | 22  | 555  |
| <b>Summe</b>     | <b>5</b>                       | <b>40</b>   | <b>85</b>   | <b>2.574</b>                                   |

Eigene Untersuchungen.

### 5.3.3 Energiebezugsflächen

Im Energiemodell wird davon ausgegangen, dass Energie wie Wärme und Strom über Energiebezugsflächen (berechnet nach Formel 2) abgerufen wird. Im Sektor Wohnen stellt die Wärmebezugsfläche die Wohnfläche abzüglich nicht beheizter Flächen (Treppenhaus, Keller, Terrasse) dar. Im Sektor Arbeiten wird der Energiebedarf auf die bebauten Gewerbeflächen bezogen, im Sektor Mobilität auf die Verkehrsflächen.

Die Energiebezugsfläche ist eine Funktion einer Reihe von Parametern. Dazu zählen in erster Linie das Brutto- und Net Tobauland (berechnet nach Formel 1) sowie das Maß der baulichen Nutzung (Grundflächen- und Geschossflächenzahl nach BauNVO § 20). Weiterhin zu berücksichtigen sind Modellfaktoren für nicht zu beheizende oder zu klimatisierende Geschossflächen, für die Bevölkerungsentwicklung, die Pro-Kopf-Wohnraumzunahme, zum Leerstand und zur Ferienhaussnutzung. Das Rechenmodell ist in Anlage 1 erläutert.

**Tab. 6 Aktuelle Geschossflächenzahlen und Energiebezugsflächen in den Planungsregionen Thüringens.**

| Nutzung       | SRT <sup>1</sup> | Siedlungsraumtypen  | Energiebezugsflächen A <sub>E</sub> <sup>3</sup> in ha |                   |                 |                |                    | Thüringen |
|---------------|------------------|---|--|-------------------|-----------------|----------------|--------------------|-----------|
|               |                  |   | GFZ <sup>2</sup>                                       | Mittel-Thürin-gen | Nord-Thü-ringen | Ost-Thü-ringen | Südwest-Thürin-gen |           |
| Misch-nutzung | I                | Vorindustrielle Altstadt  | 1,20   | 63                | 92              | 62             | 63                 | 280       |
|               | II               | Innerstädtische Baublö-cke der Gründer- und Vorkriegszeit             | 1,20   | 279               | 108             | 193            | 98                 | 678       |
|               | III              | Wiederaufbauensembles der 1950er Jahre                                | 0,70   | 1                 | 3               | 2              | 1                  | 7         |
|               | IV               | Dörfliche und kleinteilige Strukturen                                 | 0,20   | 887               | 576             | 1137           | 865                | 3.465     |
| Wohnen        | V                | Werks- und Genossen-schaftssiedlungen der Gründer- und Vorkriegs-zeit | 1,00   | 72                | 45              | 56             | 35                 | 208       |
|               | VI               | Siedlungen des sozialen Wohnungsbaus                                  | 0,50   | 73                | 37              | 66             | 51                 | 227       |
|               | VII              | Hochhäuser und Platten-bauten   | 1,40   | 41                | 85              | 42             | 41                 | 209       |
|               | VIII             | Geschosswohnungsbau seit den 1960er Jahren                            | 1,20   | 272               | 125             | 233            | 200                | 830       |
|               | IX               | Einfamilienhausgebiete  | 0,30   | 691               | 488             | 805            | 689                | 2.674     |
| Gewerbe       | X                | Gewerbe- und Industriegebiete   | 0,70   | 2.442             | 1.346           | 2.846          | 1.821              | 8.455     |
|               | XI               | Zweckbau  | 1,00   | 813               | 482             | 806            | 640                | 2.740     |
| Misch-gewerbe | X-M-             | Gewerbe in Mischge-bieten <sup>4</sup>                                | ca. 0,20 <sup>4</sup>                                  | 147               | 93              | 162            | 118                | 521       |
| Summe         |                  |   |  | 5.780             | 3.482           | 6.410          | 4.622              | 20.295    |

<sup>1</sup>Siedlungsraumtyp; <sup>2</sup>mittlere Geschossflächenzahl (GFZ) angelehnt an Angaben aus der Baunutzungsverordnung BauNVO (§17) und Everding (2007); <sup>3</sup>Energiebezugsfläche in Hektar pro Siedlungsraumtyp; <sup>4</sup>gewichtetes Mittel aus den SRT I-IV (Gewichtung über Bruttogrundfläche); 4gewichtetes Mittel.

In Tabelle 6 sind die mittleren Geschossflächenzahlen (GFZ) und die sich daraus ergebenden Energiebezugsflächen für alle Siedlungsraumtypen zusammengestellt. Trotz geringer Geschossflächenzahlen dominieren die dörflich-kleinteiligen Strukturen und die Einfamilienhausgebiete die Gesamtenergiebezugsfläche im Sektor Wohnen. In allen Planungsregionen sind die Energiebezugsflächen des Sektors „Arbeiten“ (GHDI und Zweckbauten) größer als die des Sektors „Wohnen“.

## 5.4 Energieeffizienz und -suffizienz

Die Effizienz eines Systems ist aus energetischer Sicht als Verhältnis von bereitgestellter Energie zu der genutzten Energie definiert. Je geringer die Verluste durch Energiewandlung, -speicherung und -transport sind, desto größer ist die nutzbare Energie. Durch Effizienzmaßnahmen kann der Energieverlust gering gehalten werden. Weiterhin ist eine Steigerung der Energieeffizienz durch eine Erhöhung des Nutzungsgrades der Anlagen, die Energie erzeugen, möglich. Die Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung ist eine klassische Effizienzmaßnahme. Hier wird zusätzlich die beim Umwandlungsprozess in elektrische Energie entstehende Abwärme genutzt und dadurch der Wirkungsgrad erheblich erhöht.

Weiterhin kann durch Suffizienzmaßnahmen, also durch Maßnahmen der Energieeinsparung, der Energieverbrauch reduziert werden.

Im Modellraum gibt es vielfältige Möglichkeiten der Steigerung der Energieeffizienz. Sie zu identifizieren ist Gegenstand der Effizienzanalyse. Um die Energieeffizienz in Thüringen zu erhöhen, bieten sich Maßnahmen der Energieeinsparung an. Sie betreffen den Strom-, Wärme- und Treibstoffbedarf. Je nach Energiesektor und nach Szenario unterscheiden sich die Effizienzmaßnahmen wie in den folgenden Abschnitten beschrieben.

Im Heizwärmebereich werden die Sanierungsstandards in die Zukunft projiziert und die Sanierungsraten an die für Thüringen charakteristischen Werte angepasst. Die Effizienzsteigerungen im Bereich Warmwasser und Prozesswärme, Strom und Treibstoffe werden auf der Grundlage der Studie „Modell Deutschland“ (Prognos & Ökoinstitut 2009) modelliert. Diese Studie wurde gewählt, da keine aktuelleren Prognosen mit entsprechendem Detaillierungsgrad vorliegen (insbesondere mit Blick auf die Unterscheidung der Verbrauchssektoren und ihrer Verbrauchsmuster). Darüber hinaus gibt diese Studie die Entwicklung im Energiebereich in ausgewogener Weise wieder. Des Weiteren unterscheidet die Deutschland-Studie zwei Szenarien: Ein Referenz- und ein Innovationsszenario. Diese Szenarien lassen sich gut auf die für Thüringen entwickelten und im Kapitel 4 beschriebenen Szenarien übertragen. In Thüringen wird ebenfalls von einem Referenzszenario sowie im Innovationsbereich von einem ambitionierten Szenario und einem Exzellenzszenario ausgegangen. Die Annahmen zu Referenz- und Innovationsszenario des „Modell Deutschland“ sind ebenfalls in Kapitel 4 beschrieben.

### 5.4.1 Heizwärme

Da private Haushalte aktuell etwa zwei Drittel des Endenergiebedarfs für Raumwärme verbrauchen, hat die energetische Sanierung der Gebäude Priorität. Um den Energieverbrauch zu verringern, schlägt die Deutsche Energie-Agentur folgende Verfahrensweise vor (DENA 2006):

- Zunächst wird durch nicht-investive Maßnahmen der Energieverbrauch reduziert, zum Beispiel durch eine bessere Regelung der Heizung und des Warmwasserbedarfs sowie Maßnahmen der Stromeinsparung.
- Danach wird die Gebäudehülle saniert, ebenfalls mit dem Ziel, die Verbrauchswerte zu reduzieren. Geeignete Maßnahmen sind zum Beispiel das Abdichten von Fugen und Ritzen, die Erneuerung der Fenster und schließlich die Dämmung des Dachs, der Außenwände, der Kellerdecke.

Darauf aufbauend folgt die Sanierung der Haustechnik mit dem Ziel einer deutlichen Effizienzsteigerung, insbesondere einer Verbesserung der Wärmeerzeugung mit moderner Anlagentechnik, wobei die gesamten Maßnahmen zur energetischen Sanierung aufeinander abgestimmt werden müssen.

Es ist zu empfehlen, dass alle oben genannten Schritte innerhalb eines Sanierungszyklus erfolgen, um den Einspareffekt und die Wirtschaftlichkeit zu optimieren.

Sanierte Gebäude haben einen wesentlich geringeren Wärmebedarf. In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass die vom Gesetzgeber vorgegebenen energetischen Sanierungsmaßnahmen – auch vor dem Hintergrund der sich abzeichnenden Rohstoff- und Energiekrise – im normalen Sanierungszyklus der Gebäude tatsächlich umgesetzt werden.



Als Parameter des Sanierungsprozesses gelten

- die Sanierungsrate und
- die Sanierungstiefe.

Die Sanierungstiefe bezeichnet den Umfang der Sanierung mit Blick auf den erreichten Heizwärmebedarf (Berechnet nach Formel 3). Als Zielwerte für den Neubau und die grundhafte Sanierung von Wohngebäuden werden die in den Wärmeschutz- und Energieeinsparverordnungen (WSVO, EnEV) vorgegebenen Werte angesetzt. Abbildung 12 zeigt die Entwicklung der Heizwärme Standards über die Zeit und ihre Extrapolation in die Zukunft. Es wird angenommen, dass eine Sanierung unter 15 Kilowattstunden pro Quadratmeter sich nicht flächendeckend durchsetzen wird. Im Modell definiert dieser Sanierungswert daher die untere Grenze.

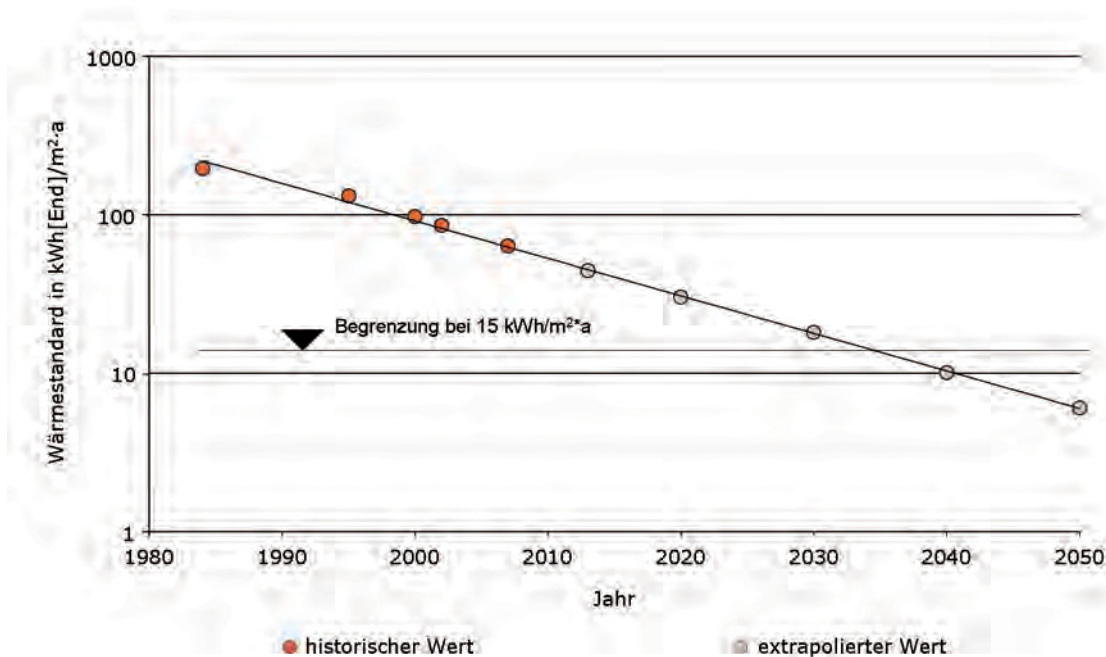


Abb. 12 Heizenergiestandards (WSVO, EnEV) in Deutschland über die Zeit. Bei logarithmischer Ordinate lassen sich die zukünftigen Heizenergiestandards (ab 2010) durch eine Gerade extrapolieren. Es wird angenommen, dass der Heizwärmebedarf nicht unter 15 Kilowattstunden pro Jahr sinkt (eigene Darstellung).

Die Sanierungsrate ist zunächst ein historisch gemessener Wert. Sie ist abhängig vom Sanierungszyklus, der bei Wohngebäuden nach verschiedenen Quellen (Matthes & Cames 2000; Pelzeter 2005; Bardt et al. 2008) zu 30 Jahren angenommen wird. Je nach Bauteil schwanken jedoch die Erneuerungsraten: So wird zum Beispiel bei der Fassade von 20-50 Jahren, beim Dach von 13-50 Jahren und bei der Verglasung von 13-27 Jahren ausgegangen (IWU 1994). Weiterhin gibt es Sanierungsschübe, wie zum Beispiel nach der Wende in den Neuen Bundesländern der 1990er Jahre.

Durch Verordnungen und Subventionen kann der Gesetzgeber die Sanierungsrate beeinflussen. Bis zur Jahrtausendwende betrug die Sanierungsrate in Deutschland etwa 2,2 Prozent pro Jahr. Die staatliche Förderung von Sanierungsmaßnahmen hat zu einer Erhöhung der Sanierungsrate auf 3,0 Prozent geführt (BMVBS 2010).

Im ländlich geprägten Thüringen wird eine durchschnittliche Sanierungsrate von ca. 1,0 Prozent angenommen. Diese Annahme entspricht den Folgerungen aus der Stadtumbaukonferenz Thüringen 2010 in Jena.

Für das ambitionierte Szenario und das Exzellenzszenario werden die Sanierungsraten erhöht (Tab. 7). Danach gelten in den Siedlungsräumen V (Werks- und Genossenschaftssiedlungen), VI (Siedlungen des sozialen Wohnungsbaus), VII (Hochhäuser und Plattenbauten) und VIII (Geschosswohnungsbau) eine Sanierungsrate von 2,0 Prozent sowie bei den Zweckbauten (SRT XI) eine Sanierungsrate von 3,0 Prozent.

Der Effekt der Anhebung der Sanierungsrate ist in Abbildung 13 dargestellt. Die Erhöhung der Sanierungsrate bewirkt eine deutliche Abnahme des Heizwärmebedarfs bis 2050. Das Energiemodell Thüringen erlaubt eine siedlungsraum-spezifische Vorgabe der Sanierungsrate, so dass der Effekt auf den Heizwärmebedarf des Gesamttraums sichtbar wird.

**Tab. 7 Sanierungsraten (in Prozent) im ambitionierten Szenario und im Exzellenzszenario.**

| Nutzung              | SRT <sup>1</sup> | Siedlungsraumtypen  | Sanierungsraten [%] |            |            |            |            |
|----------------------|------------------|---|---------------------|------------|------------|------------|------------|
|                      |                  |   | 2010                | 2020       | 2030       | 2040       | 2050       |
| Misch-nutzung        | I                | Vorindustrielle Altstadt  | 1,0                 | 1,0        | 1,0        | 1,0        | 1,0        |
|                      | II               | Innerstädtische Baublöcke der Gründer- und Vorkriegszeit            | 1,0                 | 1,0        | 1,0        | 1,0        | 1,0        |
|                      | III              | Wiederaufbauensembles der 1950er Jahre                              | 1,0                 | 1,0        | 1,0        | 1,0        | 1,0        |
|                      | IV               | Dörfliche und kleinteilige Strukturen                               | 1,0                 | 1,0        | 1,0        | 1,0        | 1,0        |
| Wohnen               | V                | Werks- und Genossenschaftssiedlungen der Gründer- und Vorkriegszeit | 2,0                 | 2,0        | 2,0        | 2,0        | 2,0        |
|                      | VI               | Siedlungen des sozialen Wohnungsbaus                                | 2,0                 | 2,0        | 2,0        | 2,0        | 2,0        |
|                      | VII              | Hochhäuser und Plattenbauten  | 2,0                 | 2,0        | 2,0        | 2,0        | 2,0        |
|                      | VIII             | Geschosswohnungsbau seit den 1960er Jahren                          | 2,0                 | 2,0        | 2,0        | 2,0        | 2,0        |
|                      | IX               | Einfamilienhausgebiete  | 1,0                 | 1,0        | 1,0        | 1,0        | 1,0        |
| Gewerbe              | X                | Gewerbe- und Industriegebiete                                       | 1,0                 | 1,0        | 1,0        | 1,0        | 1,0        |
|                      | XI               | Zweckbau  | 3,0                 | 3,0        | 3,0        | 3,0        | 3,0        |
| <b>Misch-gewerbe</b> | <b>X-M</b>       | <b>Gewerbe in Mischgebieten<sup>2</sup></b>                         | <b>1,0</b>          | <b>1,0</b> | <b>1,0</b> | <b>1,0</b> | <b>1,0</b> |

<sup>1</sup>Siedlungsraumtyp; <sup>2</sup>gewichtetes Mittel aus den SRT I-IV (Wichtung über Nettobauland).

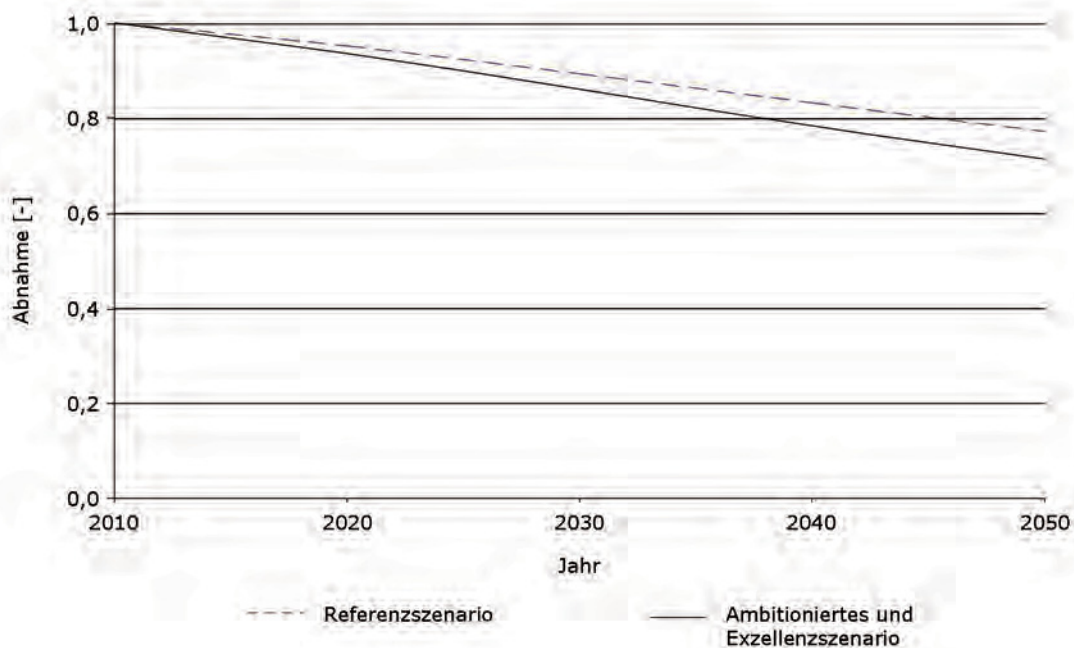


Abb. 13 Abnahme des Heizwärmebedarfs im Referenzszenario sowie im ambitionierten Szenario und Exzellenzszenario mit angehobener Sanierungsrate in ausgewählten Siedlungsraumtypen (eigene Darstellung).

#### 5.4.2 Warmwasser- und Prozesswärme

Der zukünftige Bedarf an Warmwasser und Prozesswärme wird auf der Grundlage der Studie „Modell Deutschland“ (Prognos & Ökoinstitut 2009) modelliert (Kap. 4). Dabei wird das Referenzszenario der Deutschlandstudie auf das thüringische Referenzszenario übertragen. Das Innovationsszenario der Deutschlandstudie wird als ambitioniertes Szenario bzw. Exzellenzszenario interpretiert.

Die Prognose erfolgt durch eine Approximation des zukünftigen Energiebedarfs, justiert auf den ersten Zeitschnitt, das Referenzjahr 2010. Abbildung 14 zeigt die Veränderung des Warmwasserbedarfs der Haushalte (Siedlungsraumtypen I bis IX). Danach bleibt der Warmwasserbedarf im Referenzszenario stabil, im ambitionierten Szenario und im Exzellenzszenario (Innovation) nimmt er ab. Abbildung 15 zeigt die Veränderungen des Warmwasser- und Prozesswärmebedarfs für den Sektor Gewerbe-Handel-Dienstleistungen (Siedlungsraumtypen XI, X-M) beider Szenarien, Abbildung 16 für den Sektor verarbeitendes Gewerbe und Industrie (Siedlungsraumtyp X). Der zukünftige Warmwasser- und Prozesswärmebedarf wurde mit der Formel 4 berechnet.

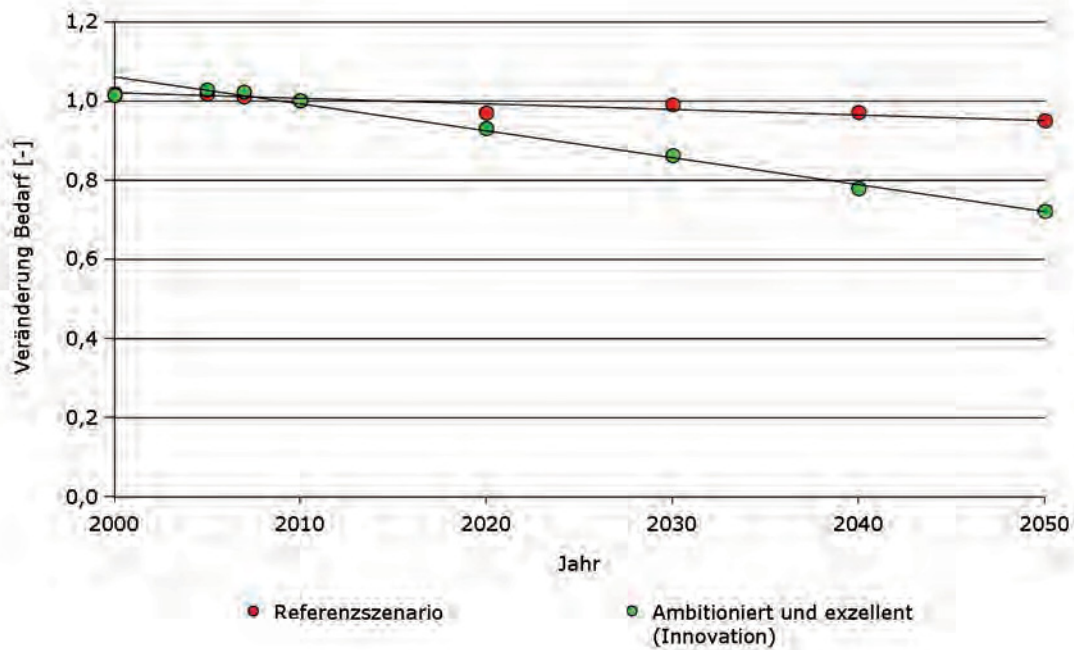


Abb. 14 Veränderung des Warmwasserbedarfs (Endenergie) im Sektor Wohnen (Siedlungsraumtypen I bis IX, Referenz- und Innovationsszenario nach Prognos & Öko-Institut 2009).

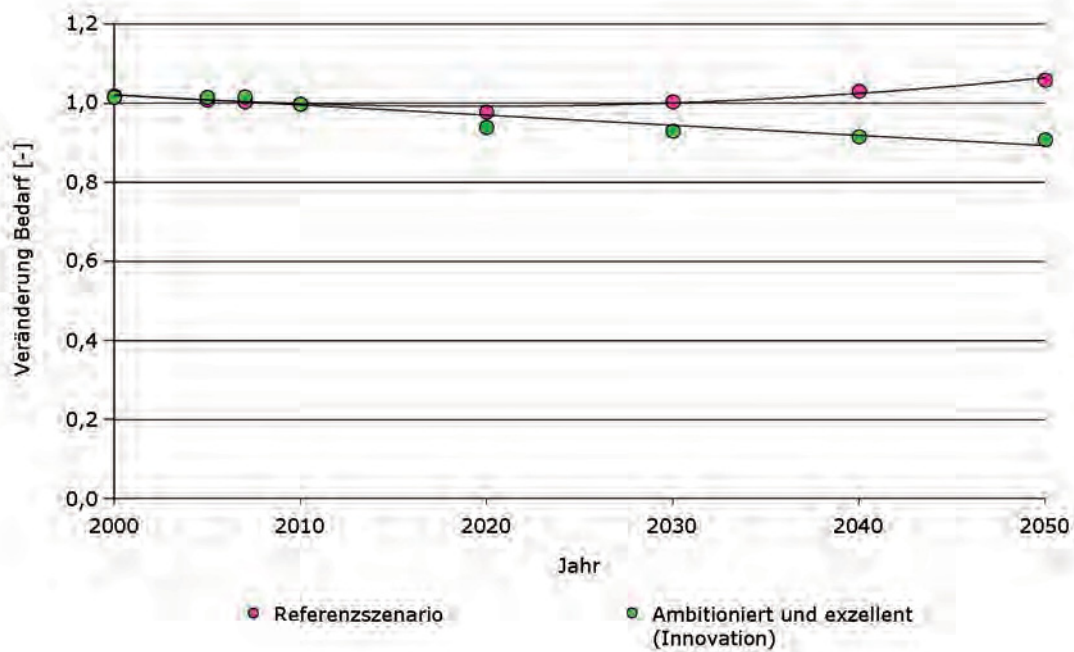


Abb. 15 Veränderung des Prozesswärmebedarfs (Endenergie) im Sektor Gewerbe-Handel-Dienstleistungen (Siedlungsraumtypen XI, X-M, Referenz- und Innovationsszenario nach Prognos & Öko-Institut 2009).

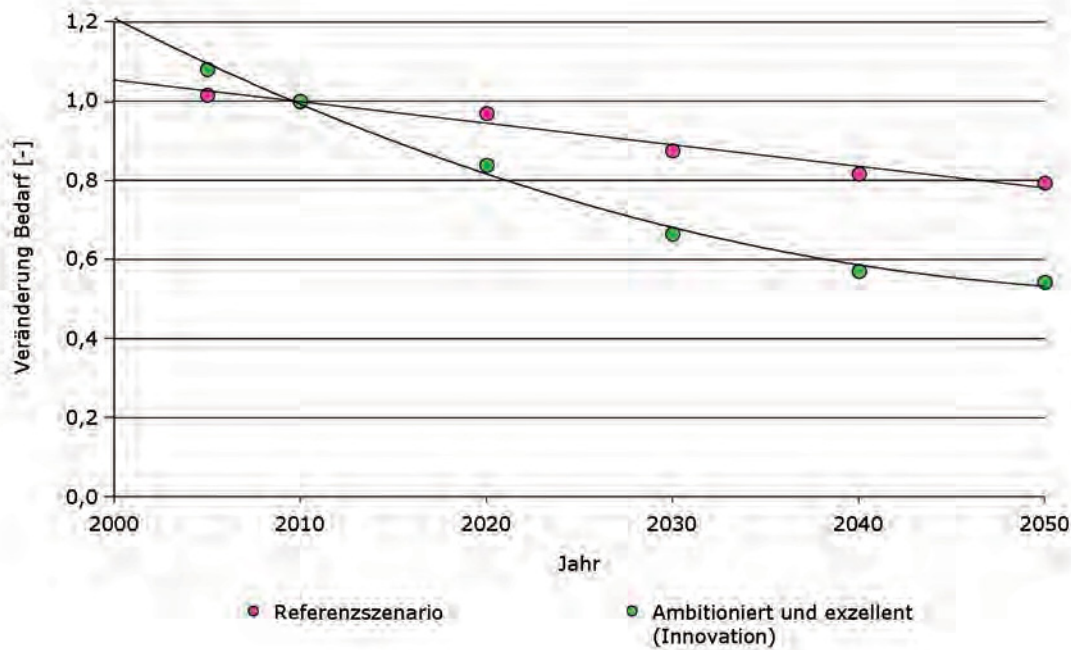


Abb. 16 Veränderung des Prozesswärmebedarfs (Endenergie) im Sektor verarbeitendes Gewerbe und Industrie (Siedlungsraumtyp X, Referenz- und Innovationsszenario nach Prognos & Öko-Institut 2009).

#### 5.4.3 Strom

Der zukünftige Strombedarf wird auf der Grundlage der Studie „Modell Deutschland“ (Prognos & Ökoinstitut 2009) modelliert (Kap. 4). Dabei wird das Referenzszenario der Deutschlandstudie auf das thüringische Referenzszenario übertragen. Das Innovationsszenario der Deutschlandstudie wird als ambitioniertes Szenario bzw. Exzellenzszenario interpretiert.

Abbildung 17 zeigt die Veränderung des Strombedarfs der Haushalte (Siedlungsraumtypen I bis IX). In beiden Szenarien nimmt der Strombedarf ab, im ambitionierten Szenario und im Exzellenzszenario (Innovation) deutlicher. Abbildung 18 zeigt die Veränderungen des Strombedarfs für den Sektor Gewerbe-Handel-Dienstleistungen (Siedlungsraumtypen XI, X-M) beider Szenarien, Abbildung 19 für den Sektor verarbeitendes Gewerbe und Industrie (Siedlungsraumtyp X). Im Referenzszenario nimmt der Strombedarf für GHD deutlich zu, für die Industrie ab. Im ambitionierten Szenario und im Exzellenzszenario (Innovation) nimmt der Bedarf im Sektor GHD deutlich, im Sektor Industrie stark ab.

Abbildung 20 zeigt den Strombedarf im Sektor Mobilität. Dabei wurden die (gewichteten) Veränderungen für Schiene und Straße überlagert. Im Referenzszenario nimmt der Strombedarf zu, im ambitionierten Szenario und im Exzellenzszenario (Innovation) nimmt er stärker zu. Grund hierfür ist die stärkere Förderung des schienengebundenen ÖPNV sowie verstärkte Anstrengungen zur Elektromobilität.

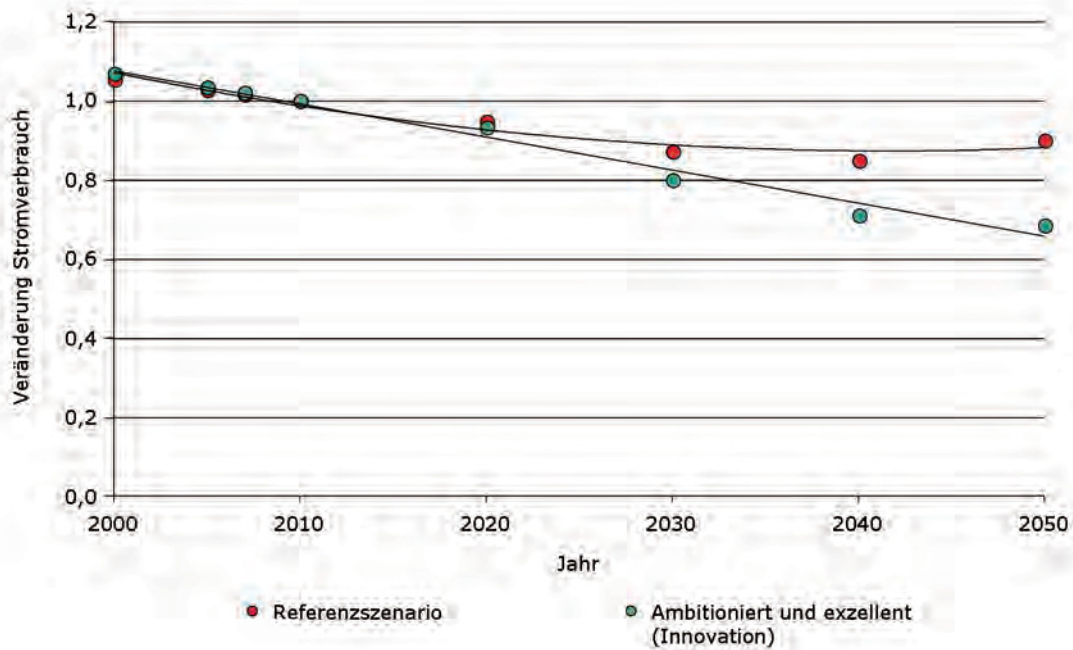


Abb. 17 Veränderung des Strombedarfs (Endenergie) im Sektor Wohnen (Siedlungsraumtypen I bis IX, Referenz- und Innovationsszenario nach Prognos & Öko-Institut 2009).

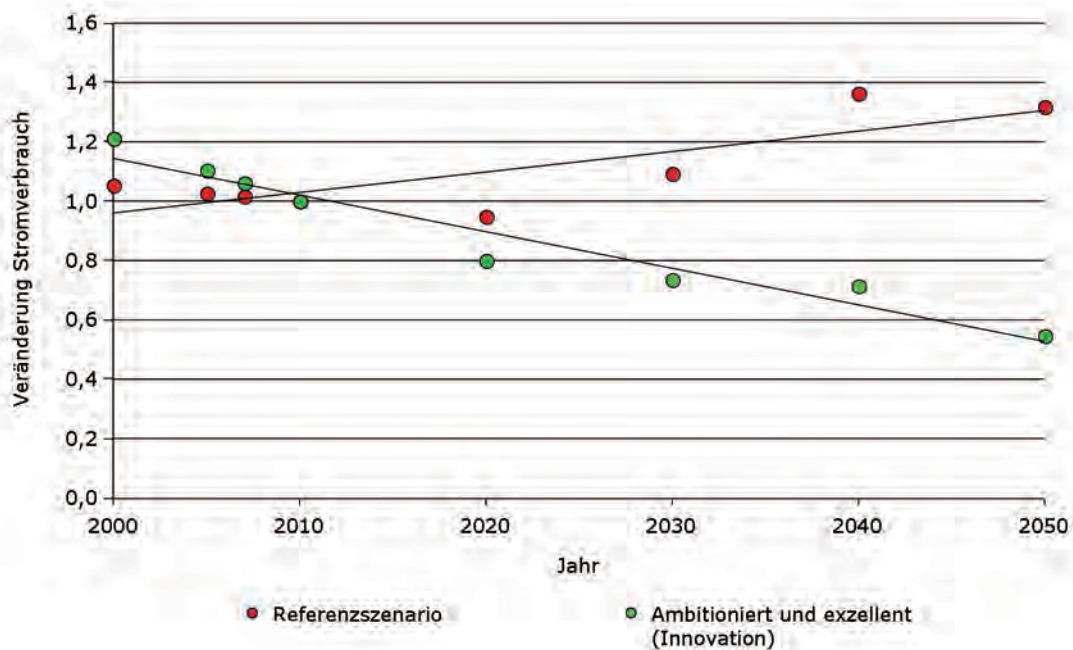


Abb. 18 Veränderung des Strombedarfs (Endenergie) im Sektor Gewerbe-Handel-Dienstleistungen (Siedlungsraumtypen XI, X-M, Referenz- und Innovationsszenario nach Prognos & Öko-Institut 2009).



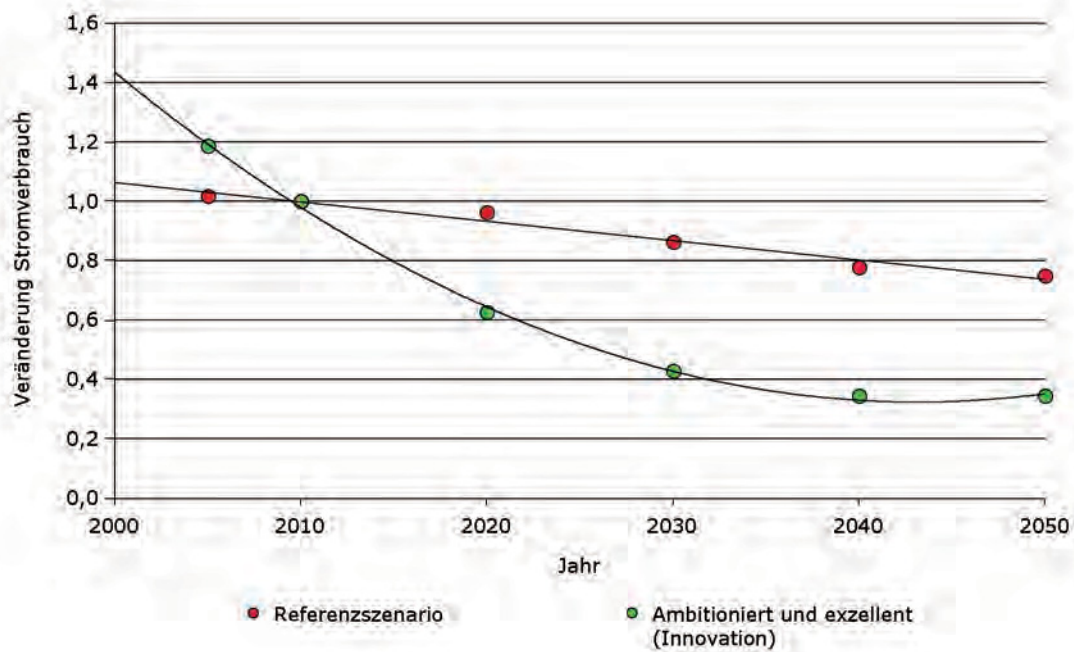


Abb. 19 Veränderung des Strombedarfs (Endenergie) im Sektor verarbeitendes Gewerbe und Industrie (Siedlungsraumtyp X, Referenz- und Innovationsszenario nach Prognos & Öko-Institut 2009).

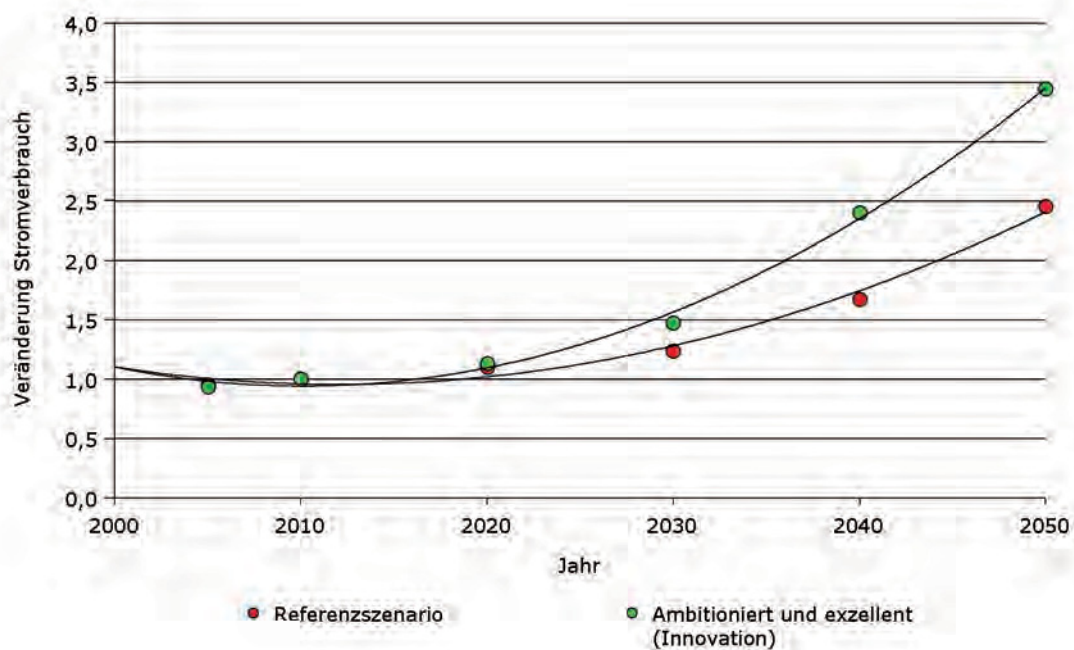


Abb. 20 Veränderung des Strombedarfs (Endenergie) im Sektor Mobilität (Referenz- und Innovationsszenario nach Prognos & Öko-Institut 2009).

#### 5.4.4 Treibstoffe

Der zukünftige Treibstoffbedarf wird auf der Grundlage der Studie „Modell Deutschland“ (Prognos & Ökoinstitut 2009) modelliert (Kap. 4). Dabei wird das Referenzszenario der Deutschlandstudie auf das thüringische Referenzszenario übertragen. Das Innovationsszenario der Deutschlandstudie wird als ambitioniertes Szenario bzw. Exzellenzszenario interpretiert.

Im Sektor Wohnen besteht nur wenig Treibstoffbedarf (allenfalls das „Kochgas“). Die Veränderungen des Treibstoffbedarfs für den Sektor Gewerbe-Handel-Dienstleistungen (Siedlungsraumtypen XI, X-M) zeigt Abbildung 21. Im Referenzszenario nimmt der Bedarf deutlich, im ambitionierten Szenario und im Exzellenzszenario (Innovation) stärker ab.

Ein ähnliches Bild ergibt sich für den Sektor verarbeitendes Gewerbe und Industrie (Siedlungsraumtyp X) (Abb. 22). Im Sektor Mobilität wird in beiden Szenarien von einer Abnahme des Treibstoffbedarfs ausgegangen. Die Abbildung 23 zeigt das für Straße, Schiene, Binnenschifffahrt und Luftverkehr aggregierte Diagramm.

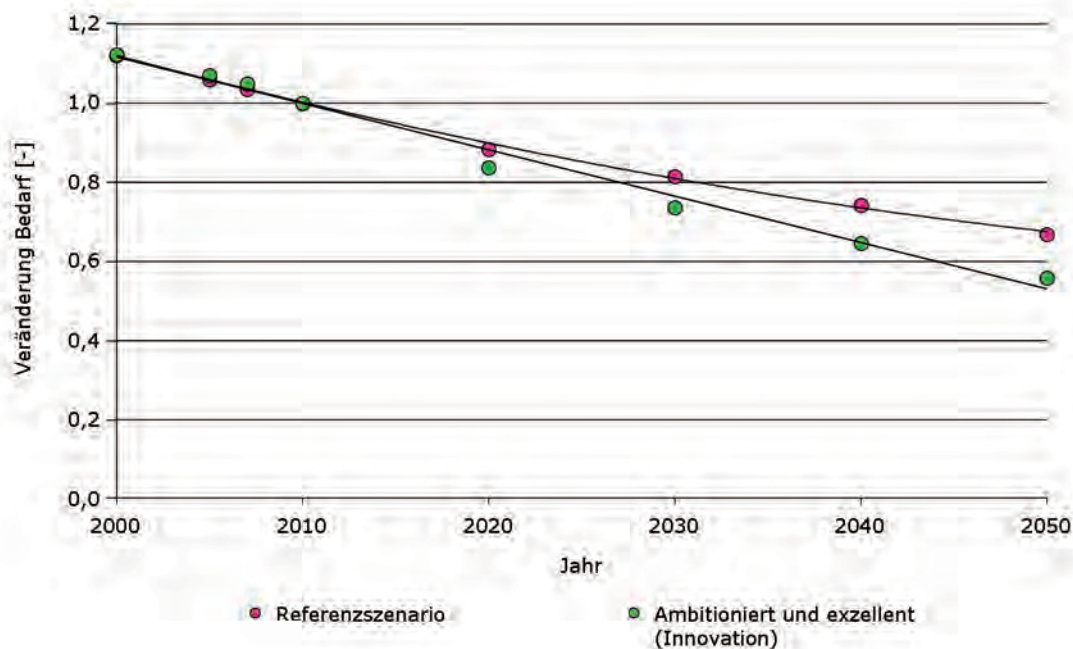


Abb. 21 Veränderung des Treibstoffbedarfs (Endenergie) im Sektor Gewerbe-Handel-Dienstleistungen (Siedlungsraumtypen XI, X-M, Referenz- und Innovationsszenario nach Prognos & Öko-Institut 2009).



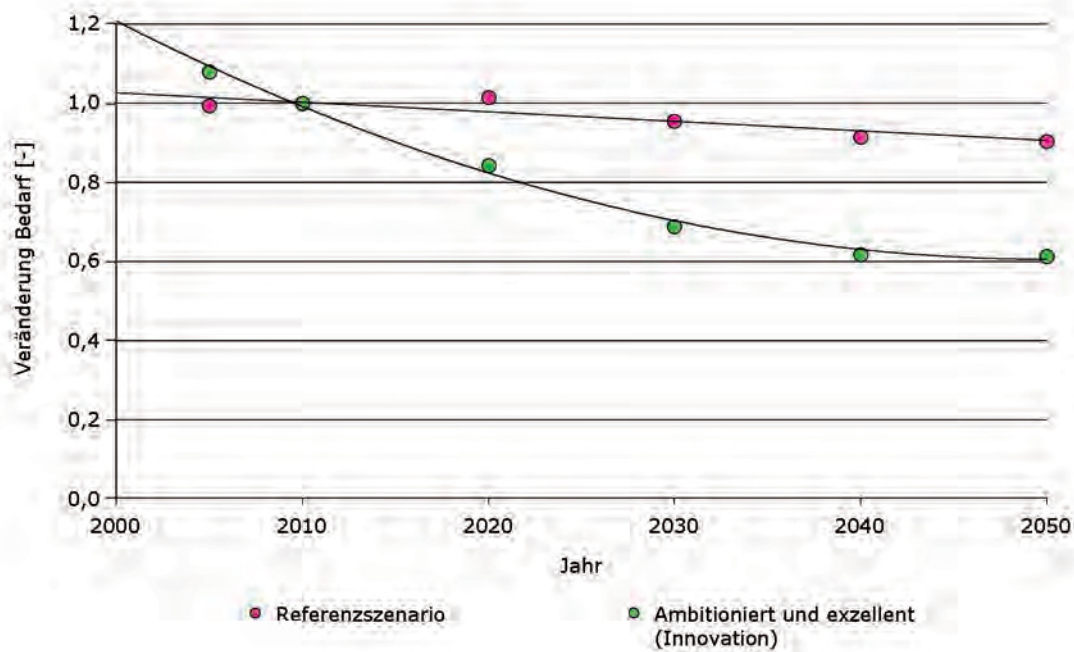


Abb. 22 Veränderung des Treibstoffbedarfs (Endenergie) im Sektor verarbeitendes Gewerbe und Industrie (Siedlungsraumtyp X, Referenz- und Innovationsszenario nach Prognos & Öko-Institut 2009).

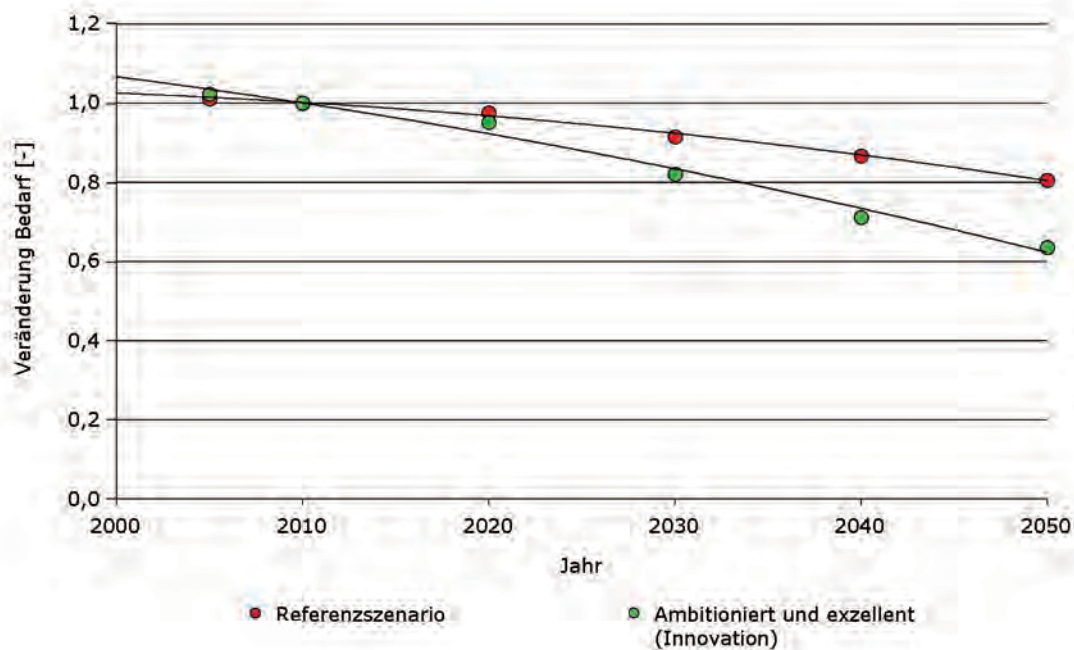


Abb. 23 Veränderung des Treibstoffbedarfs (Endenergie) im Sektor Mobilität (Referenz- und Innovationsszenario nach Prognos & Öko-Institut 2009).

## 5.5 Möglichkeiten der Nutzung erneuerbarer Energien

Heute lassen sich mit modernen Technologien erneuerbare Energien in vielfältiger Form und auf sehr effiziente Art und Weise erzeugen. In dieser Studie werden die verschiedenen Optionen der Energieerzeugung vorgestellt und ihr Potenzial ausgelotet. Grundsätzlich werden nur real nutzbare, im Siedlungs- und Landschaftsraum umsetzbare Optionen der erneuerbaren Energieerzeugung untersucht.

### 5.5.1 Solarenergie

Die Sonnenenergie als erneuerbare Energiequelle lässt sich auf direktem Weg nutzen. Dabei wird zwischen

- photovoltaischer Nutzung zur Stromerzeugung und
- solarthermischer Nutzung zur Wärmebereitstellung

unterschieden.

Zur direkten Solarnutzung eignen sich südlich ausgerichtete Dächer bzw. Fassaden. Auf statisch geeigneten Flachdächern sind auch aufgeständerte Anlagen möglich. Weiterhin werden Freiflächenanlagen gebaut, wobei hier die Konkurrenz mit anderen Nutzungsoptionen zu beachten ist.

Anhand der im Forschungsprojekt „Leitbilder und Potenziale des solaren Städtebaus“ ermittelten solaren Gütezahlen (Everding et al. 2004; Everding 2007) lassen sich die stadtraumspezifischen solaren Nutzflächen abschätzen. Kriterien dabei sind zum Beispiel die Ausrichtung, Verschattungen und typische Fensterflächen sowie die Eingriffsempfindlichkeit und der Denkmalschutz. Mit Hilfe des Solardachkatasters der Stadt Erfurt wurden die stadtraumspezifischen Gütezahlen überprüft und bestätigt.

Die solare Gütezahl ergibt sich aus dem Verhältnis der solar nutzbaren Flächen von Dächern und Fassaden zum Nettobauland (Everding et al. 2004; Everding 2007). Das Nettobauland ist die Summe der bebauten Grundstücke (dem Bruttobauland) abzüglich der Gemeinbedarfsflächen (der öffentlich genutzten Flächen). Mit einer solaren Gütezahl von 1,0 ließe sich das gesamte Dach lückenlos solartechnisch nutzen. Solare Gütezahlen lassen sich sowohl für die Dachflächen als auch für die Fassadenflächen bestimmen. In Tabelle 8 sind die solaren Gütezahlen für die in dieser Studie verwendeten Siedlungsraumtypen aufgelistet.

**Tab. 8 Solare Gütezahlen für einzelne Siedlungsraumtypen (nach Everding 2004, 2007, angepasst an Thüringen).**

| Nutzung       |  | SRT' [-] | Solare Gütezahl |             |
|---------------|--|----------|-----------------|-------------|
|               |  |          | Dach [-]        | Fassade [-] |
| Misch-nutzung | Vorindustrielle Altstadt   | I        | 0,140           | 0,000       |
|               | Innerstädtische Baublöcke der Gründer- und Vorkriegszeit             | II       | 0,100           | 0,000       |
|               | Wiederaufbauensembles der 1950er Jahre                               | III      | 0,190           | 0,000       |
|               | Dörfliche und kleinteilige Strukturen                                | IV       | 0,040           | 0,020       |
| Wohnen        | Werks- und Genossenschafts-siedlungen der Gründer- und Vorkriegszeit | V        | 0,040           | 0,000       |
|               | Siedlungen des sozialen Wohnungsbaus                                 | VI       | 0,110           | 0,000       |

| Nutzung       |  | SRT <sup>1</sup> [-] | Solare Gütezahl |             |
|---------------|--|----------------------|-----------------|-------------|
|               |  |                      | Dach [-]        | Fassade [-] |
|               | Hochhäuser und Plattenbauten               | VII                  | 0,120           | 0,090       |
|               | Geschosswohnungsbau seit den 1960er Jahren | VIII                 | 0,080           | 0,040       |
|               | Einfamilienhausgebiete                     | IX                   | 0,040           | 0,010       |
| Gewerbe       | Gewerbe- und Industriegebiete              | X                    | 0,260           | 0,050       |
|               | Zweckbau                                   | XI                   | 0,120           | 0,040       |
| Misch-nutzung | Gewerbe in Mischgebieten                   | X-M                  | 0,043           | 0,019       |

<sup>1</sup>Siedlungsraumtyp.

Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen) wandeln Solarstrahlung direkt in elektrische Energie um. Sie bestehen aus PV-Modulen (Solarmodulen), die Sonnenlicht in Gleichstrom umwandeln, der wiederum mit einem Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt wird. Die zu erwartenden Erträge einer PV-Anlage sind eine Funktion der solaren Nutzfläche, der Sonneneinstrahlung und des Nutzungsgrades. Der Nutzungsgrad einer PV-Anlage liegt bei 10 bis 15 Prozent (Kaltschmitt et al. 2006; Wesselak & Schabbach 2009). Im Prognosemodell wird von einem Nutzungsgrad von 10 Prozent ausgegangen. Im Sommerhalbjahr bringt eine PV-Anlage etwa zwei Drittel des gesamten Jahresertrages. Photovoltaik ist also keine konstante und somit keine bedarfsgerechte Form der Energieerzeugung. Der Energieertrag variiert mit den Witterungsbedingungen und dem Sonnenstand, mit der Tages- und Jahreszeit.

Sonnenkollektoren wandeln das Sonnenlicht in Wärme um. Solarthermische Anlagen bestehen aus einem Kollektorfeld, einem Wärmespeicher, dem Solarkreis (dem geschlossenen Rohrkreis zwischen Kollektorfeld und Speicher) und der Regelung. Die zu erwartenden Erträge einer solarthermischen Anlage sind eine Funktion der solaren Nutzfläche, der Sonneneinstrahlung, des Nutzungsgrades und der Auslastung. Der Energieertrag schwankt mit den Witterungsbedingungen, mit der Tages- und Jahreszeit. Durch die Speicherhaltung ist das System jedoch zumindest kurzfristig unabhängig von der Witterung. Mit der zurzeit üblichen Anlagentechnik werden Nutzungsgrade von 30 bis 60 Prozent erreicht.

Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle stellte Informationen zu den geförderten solarthermischen Anlagen ab dem Jahr 2000 zur Verfügung. Hinzu kamen die zwischen 1991 und 2005 durch das Land Thüringen geförderten Anlagen.

Sonnenkollektoren werden meist zur Warmwasseraufbereitung genutzt. Im Prognosemodell wird die Nutzung von Sonnenkollektoren darauf beschränkt. In der weitgehend heizfreien Periode von Juni bis August werden in Thüringen im Mittel 22 Prozent der gesamten Jahresenergie für Warmwasser verbraucht. Diese muss durch die solar verfügbare Fläche im Stadtraum gedeckt werden, die sich aus den siedlungsraumtypischen solaren Gütezahlen ergibt. In der weitgehend heizfreien Periode fallen in Thüringen etwa 43 Prozent der gesamten Jahreseinstrahlung an. Unter Berücksichtigung eines solarthermischen Nutzungsgrads von 35 Prozent lassen sich der siedlungsraumspezifische solarthermische Flächenanteil und die daraus resultierende solarthermische Nutzfläche ermitteln. Der verbleibende Rest der über die solaren Gütezahlen ermittelten Flächen kann photovoltaisch also zur Stromerzeugung, genutzt werden.

Zu beachten ist, dass in Stadträumen in denen die Warmwasserversorgung durch Wärmenetze oder durch Abwasserwärmerückgewinnung gesichert wird, die gesamte solar nutzbare Fläche photovoltaisch genutzt wird.

Die Ertragsdaten der Photovoltaikanlagen wurden für die vorliegende Studie berechnet, da die Jahresabrechnungen des Übertragungsnetzbetreibers auch die Einspeisedaten von EEG-Anlagen enthalten, die erst am Jahresende an das Stromnetz angeschlossen wurden und demzufolge auch nur eine geringe Strommenge aufweisen. Deshalb würden diese Einspeisedaten nicht den möglichen Gesamtjahresertrag der installierten Anlagenleistung widerspiegeln.

Die durchschnittliche jährliche Strahlungsenergie der letzten acht Jahre an der Wetterstation Erfurt (TLL, Agrarmeteorologisches Messnetz) betrug 1090 Kilowattstunden pro Quadratmeter. Ausgehend von einem Modulwirkungsgrad von 10 Prozent und einer benötigten Modulfläche von 9 Quadratmeter pro Kilowattpeak können rund 981 Kilowattstunden pro Kilowattpeak erzeugt werden. Für die Berechnung der aktuellen Ertragsdaten wurden konservativ 900 Kilowattstunden pro Kilowattpeak angenommen.

Zur Abschätzung des Energieertrages solarthermischer Anlagen wurde ein durchschnittlicher Energieertrag von 350 Kilowattstunden pro Quadratmeter Kollektorfläche und Jahr angenommen (Wesselak, V. & T. Schabbach 2009). Dieser ergab sich aus einer Simulation, welche die Fachhochschule Nordhausen zur Ermittlung solarthermischer Erträge durchgeführt hatte.

### 5.5.2 Windkraft

Eine der ältesten Nutzungsformen erneuerbarer Energien ist der Einsatz der Windkraft. Unterschieden werden Widerstandsläufer, die dem anströmenden Wind einen Widerstand entgegensetzen, und Auftriebsläufer, die nach dem Auftriebsprinzip funktionieren. Die modernen Windkraftanlagen funktionieren nach dem Auftriebsprinzip. Ihr Wirkungsgrad ist theoretisch nach Albert Betz bei knapp 60 Prozent begrenzt (Quaschnig 2009).

Der Energieertrag von Windkraftanlagen ist eine Funktion der Windgeschwindigkeit, der Rotorfläche und des Nutzungsgrades. Die Windgeschwindigkeit wird wesentlich durch die Rauigkeit der Umgebung beeinflusst. Aufgrund des Rauigkeitsprofils eignen sich Windkraftanlagen nur in Ausnahmefällen im Stadtraum. In der urbanen Peripherie können Windkraftanlagen dagegen hohe Energieerträge bringen. Allerdings ist die Stromerzeugung abhängig vom Wind, schwankt also mit der Witterung. Windkraft kann somit nicht bedarfsgerecht erzeugt werden.

Zur Abschätzung der Windhöflichkeit wurde eine Windgeschwindigkeitskarte durch die AL-PRO GmbH erstellt (Karte 3, Kartenwerk). Diese zeigt die durchschnittliche Windgeschwindigkeit in 120 Meter Höhe über NN in einem 1x1km Raster. In der Handlungsempfehlung zur Ausweisung von Vorranggebieten „Windenergie“ durch die regionalen Planungsgemeinschaften werden unter windhöflichen Gebieten solche Areale verstanden, in denen die Windgeschwindigkeit in 50 Meter über NN mindestens 5 Meter pro Sekunde und in 80 Meter über NN mindestens 5,5 Meter pro Sekunde beträgt. Für 120 Meter sind keine Angaben gemacht worden. Da die Windkarte aber lediglich Windgeschwindigkeiten in 120 Meter abbildet, wurde mit Hilfe des Potenzansatzes nach Hellmann (Lazar et al 2006) die Mindestwindgeschwindigkeit in dieser Höhe aus der geforderten Mindestwindgeschwindigkeit laut der Handlungsempfehlung zur Ausweisung von Vorranggebieten in 80 Meter Höhe bestimmt (Formel 6). Damit ergibt sich eine Windgeschwindigkeit von 5,8 Meter pro Sekunde in 120 Meter Höhe (Rauigkeit des Geländes 0.14). Zur Ermittlung der Potenziale im ambitionierten Szenario und dem Exzellenzszenario wurden nur Gebiete als potenzielle Eignungsgebiete zur Nutzung der Windkraft näher untersucht in denen mindestens 6 Meter pro Sekunde in 120 Meter über NN laut der Windgeschwindigkeitskarte prognostiziert wurden.

Windhöfliche Gebiete wurden mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems mit weiteren Ausschlusskriterien verschnitten. Dabei wurden ebenfalls die gesetzlich vorgegebenen Abstandsregelungen zu den bestehenden Vorranggebieten berücksichtigt.

Für das ambitionierte Szenario wurde angenommen, dass im Wald (außer bei gleichzeitiger Belegung mit weiteren Ausschlusskriterien) die Nutzung der Windkraft möglich ist. Zum Schutz des biodiversität wertvollen Waldrandbereichs wurde innerhalb eines 200 Meter breiten Waldrandstreifens die Nutzung der Windkraft ausgeschlossen. Zusätzlich wurde für das Exzellenzszenario angenommen, dass in Naturparken, Landschaftsschutzgebieten und Trinkwasserschutzzonen die Nutzung der Windkraft möglich ist.

### 5.5.3 Wasserkraft

Wasserkraftwerke wandeln die kinetische und potenzielle Energie der Wasserströmung in elektrische Energie um. Die Wasserkraft ist wie die Windkraft eine der ältesten Formen der Energieerzeugung. Traditionell wird diese Nutzungsform auch innerhalb von Siedlungsbereichen eingesetzt. Heute wird die Wasserkraft fast ausschließlich zur Erzeugung elektrischen Stroms genutzt.

Laufwasserkraftwerke werden mit 4.500 bis 6.500 Volllaststunden pro Jahr gefahren. Ihr Wirkungsgrad kann 90 Prozent überschreiten, ihr Nutzungsgrad liegt bei 60 bis 80 Prozent (Kaltschmitt et al. 2006; Quaschnig 2009). Sie wandeln die Wasserkraft also in sehr effizienter Weise in Strom um. Der Energieertrag ist eine Funktion der Fallhöhe, der nutzbaren Wassermenge und des Nutzungsgrades. Sowohl die Fallhöhe als auch die Wassermenge gehen linear in die Berechnung des Energieertrags ein. Mit doppelter Fallhöhe oder doppelter Wassermenge erhält man also den doppelten Energieertrag. Allerdings unterliegt der Abfluss in kleineren Fließgewässern jahreszeitlichen Schwankungen. Somit kann auch die Stromerzeugung Schwankungen unterliegen. Größere Laufwasserkraftwerke eignen sich dagegen durchaus zur Deckung der Grundlast.

Kleinwasserkraftanlagen eignen sich zum Einbau in Trinkwasser- oder in Abwasserleitungen. Diese Sondernutzungsformen wurden in dieser Studie jedoch nicht berücksichtigt.

Zur Abschätzung der Potenziale wird angenommen, dass an den bestehenden Wasserkraftanlagen mit einer Leistung von mehr als einem Megawatt eine Steigerung der Leistung um 10 Prozent durch Erhöhung des Anlagenwirkungsgrades bzw. durch Erhöhung des Ausbaugrades möglich ist. Für Bestandsanlagen mit einer Leistung von weniger als einem Megawatt wird eine Steigerung des Ertrags um 20 Prozent durch Erhöhung des Anlagenwirkungsgrades unterstellt. Als Basis dieser Annahme wurde die Studie zur Ermittlung des Wasserkraftpotenzials an Wasserkraftanlagenstandorten in Deutschland zu Grunde gelegt (Bauer; Ruprecht; Heimerl, 2010). Die Möglichkeit der Neuinstallation von Wasserkraftanlagen wird aufgrund der genehmigungsrechtlichen Auflagen nicht berücksichtigt. Diese Auflagen ergeben sich im Wesentlichen aus der Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL), dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und den bundeslandspezifischen Regelungen für die Genehmigung von Wasserkraftwerken. So darf beispielsweise nach § 35 Abs.1 WHG die Wasserkraft nur zugelassen werden, wenn „...geeignete Maßnahmen zum Schutz der Fischpopulation...“ getroffen werden. Nach § 68 Abs.1 WHG ist bei einem Gewässerausbau (ein Neubau einer Wasserkraftanlage setzt in der Regel einen Gewässerausbau voraus) ein Planfeststellungsverfahren durchzuführen. Diese Auflagen finden sich auch in dem Thüringer Wassergesetz (ThürWG) wieder und können zu einer erheblichen Kostensteigerung beim Bau einer Wasserkraftanlage führen.

#### 5.5.4 Umgebungswärme

Die Wärme der Umgebung kann durch Wärmepumpen auf ein nutzbares Niveau angehoben werden. Dabei nutzt man unterschiedliche Umweltmedien:

- den Untergrund (Boden, Grundwasser)
- die Umgebungsluft
- die Gewässer und das Abwasser.

Zum Antrieb der verschiedenen Arten von Wärmepumpen (Luft-Wasser, Sole-Wasser, Wasser-Wasser, etc.) wird Energie benötigt, die aus regenerativen Quellen stammen muss, soll die Wärmeerzeugung nachhaltig sein. Die Funktionsweise der Kompressionswärmepumpe beruht auf einem komplexen thermodynamischen Kreisprozess, den bereits Jacob Perkins 1834 zum Bau des Kühlschranks inspirierte und den Lord Kelvin 1852 zum Bau einer Wärmekraftmaschine nutzte. Ein Maß für die Effizienz einer Wärmepumpe ist ihre Leistungszahl (*Coefficient of Performance*) oder Jahresarbeitszahl (JAZ), d.h. das Verhältnis der abgegebenen Jahresnutzwärme zur gesamten, von der Wärmepumpe aufgenommenen Energie. Die für den Betrieb einer Wärmepumpe eingesetzte elektrische Energie sollte mehr als die dreifache Wärmeenergie (also  $JAZ > 3$ ) erzeugen, damit eine Wärmepumpe wirtschaftlich arbeitet.

Auf der Grundlage der Auswertung von Luftbildern aus 14 Städten und 39 Stadträumen (FHN 2009) wurden charakteristische, technisch machbare Erdwärmesondendichten pro Hektar Stadtraum ermittelt. Um die Erreichbarkeit mit Bohrgeräten und die Nähe zum Wärmeabnehmer zu berücksichtigen sowie thermische Überlagerungen zu vermeiden, wurde ein Mindestabstand von 16 Metern berücksichtigt, mehr als doppelt so viel wie in VDI 4640 (Blatt 2 S. 16) als Mindestabstand empfohlen. Die Abbildung 24 veranschaulicht die maximal mögliche Sondendichte innerhalb eines bebauten Bereichs, bei einem Mindestabstand von 16 Metern zwischen den Erdwärmesonden. Nach Bundesberggesetz (BBergG § 3 Abs. 3 Nr. 2b) ist die Erdwärme ab 100 Meter Tiefe ein „bergfreier Bodenschatz“. Einfache Genehmigungsverfahren beschränken sich somit auf eine maximale Bohrtiefe von 100 Metern, die allerdings in der Praxis oft nicht erreicht werden. Die Bohrtiefe wurde aufgrund von Erfahrungswerten auf 80 Meter begrenzt. Weiterhin wurden eine Entzugsleistung von 50 Watt pro Meter sowie ein Jahresertrag von 126 Kilowattstunden pro Meter bei einer Jahresarbeitszahl von 3,5 angenommen. Es handelt sich somit um eine konservative Abschätzung der thermischen Erträge (VDI 4640, Schabbach 2010)





Abb. 24 Maximale Dichte vertikaler Erdwärmesonden bei einem Abstand von mindestens 16 Metern. Die in Thüringen (für die Szenarien) angenommene Dichte entspricht der Hälfte der hier dargestellten Dichte.

Die in Thüringen gewählten charakteristischen Erdwärmesondendichten sind in Tabelle 9 für alle prototypischen Siedlungsräume aufgeführt. Um eine Mehrfachzählung regenerativer Wärmeinputs zu vermeiden (eine unzulässige Addition möglicher Erträge von Erdwärmesonden, Kleinf Feuerung mit Biomasse und regenerative Fernwärme), wurde in einigen Siedlungsräumen die Anzahl der Erdwärmesonden reduziert bzw. eine Nutzung der flachen Erdwärme gänzlich ausgeschlossen (in der Tabelle auf Null gestellt).

Für die Potenzialermittlung der Geothermie wird angenommen, dass eine Nutzung in den Trinkwasserschutzzonen ausgeschlossen werden kann. Durch die Annahme, dass nur ein Teil der möglichen Anlagen auch installiert wird, kann davon ausgegangen werden, dass dadurch die restriktiven Bereiche bereits abgedeckt sind. Zudem wird angenommen, dass in den Bereichen, in denen Erdwärmesondenbohrungen ausgeschlossen werden, stattdessen die Umgebungsluft (mittels Wärmepumpen) genutzt werden kann.

**Tab. 9**      **Mögliche und angenommene Dichten von Erdwärmesonden nach Siedlungsraumtyp.**

| Nutzung              |  | SRT <sup>1</sup> [-] | Mögliche Sondendichte (Sonden pro ha) | Angenommene Sondendichte (Sonden pro ha) |
|----------------------|--|----------------------|---------------------------------------|--|
| Misch-nutzung        | Vorindustrielle Altstadt   | I                    | 8                                     | 0  |
|                      | Innerstädtische Baublöcke der Gründer- und Vorkriegszeit             | II                   | 12                                    | 0  |
|                      | Wiederaufbauensembles der 1950er Jahre                               | III                  | 11                                    | 0  |
|                      | Dörfliche und kleinteilige Strukturen                                | IV                   | 9                                     | 4,5                                      |
| Wohnen               | Werks- und Genossenschafts-siedlungen der Gründer- und Vorkriegszeit | V                    | 11                                    | 5,5                                      |
|                      | Siedlungen des sozialen Wohnungsbaus                                 | VI                   | 13                                    | 0  |
|                      | Hochhäuser und Plattenbauten   | VII                  | 10                                    | 0  |
|                      | Geschosswohnungsbau seit den 1960er Jahren                           | VIII                 | 10                                    | 0  |
|                      | Einfamilienhausgebiete   | IX                   | 12                                    | 12                                       |
| Gewerbe              | Gewerbe- und Industriegebiete  | X                    | 5                                     | 0  |
|                      | Zweckbau   | XI                   | 6                                     | 3  |
| <b>Misch-gewerbe</b> | <b>Gewerbe in Mischgebieten</b>                                      | -                    | <b>8,6<sup>2</sup></b>                | <b>4,3<sup>2</sup></b>                   |

<sup>1</sup>Siedlungsraumtypen, <sup>2</sup>gewichtetes Mittel.

### 5.5.5 Abwasserwärme

Aus Abwasser lässt sich in effizienter Weise Wärme gewinnen. Dabei kann der Wärmeentzug entweder noch im Gebäude vor Eintritt des Abwassers in das Kanalnetz oder in speziellen, gebäudenahen Abwassersammelschächten erfolgen. Zudem können in den Abwasserkanal Wärmetauscher gelegt werden. Schließlich ist auch am Ausfluss eines Klärwerks eine Abwasserwärmerückgewinnung möglich. Der Wärmeentzug aus geklärten Abwässern ist wesentlich effizienter als im Kanal, da das Abwasser vor dem Klärwerk nur wenig abgekühlt werden darf, um dessen Funktionsfähigkeit nicht zu beeinträchtigen. Am Ausfluss des Klärwerks ist dagegen eine erhebliche Abkühlung möglich und ökologisch sogar sinnvoll. Allerdings gibt es in unmittelbarer Nähe von Klärwerken selten Wärmeabnehmer.

Der technisch machbare Energieertrag aus Abwasser ist eine Funktion der Menge des Abwassers pro Zeiteinheit (dem Durchfluss), der Temperaturdifferenz vor und nach dem Wärmeentzug, der spezifischen Wärmekapazität des Abwassers und der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe. Da ein Einwohner im Mittel 100 Liter Abwasser pro Tag erzeugt, lässt sich über die Einwohnerzahl pro Siedlungsraum der theoretisch mögliche Wärmeentzug abschätzen. Eine weitere Möglichkeit der Abschätzung des Wärmeertrags geht von der Erkenntnis aus, dass im Prinzip 5 bis 10 Prozent des thermischen Bedarfs von Wohngebäuden (Heizwärme und Warmwasser) durch Abwasserwärmerückgewinnung gedeckt werden kann (BWP/DBU 2005). Inzwischen konnte anhand von Praxisprojekten nachgewiesen werden, dass sich der gesamte Warmwasserbedarf durch Abwasserwärmerückgewinnung decken lässt (FEKA 2009).



Eine im Siedlungsraum sinnvolle Option stellt die der Abwasserwärmerückgewinnung in gebäudenahen Abwassersammelschächten dar (Abb. 25). Wirtschaftlich ist sie jedoch nur in Gebäuden mit mehr als 30 Wohneinheiten (Kalberer 2010). In Tabelle 10 sind die prototypischen Siedlungsräume gelistet, in denen eine entsprechende Abwasserwärmerückgewinnung wirtschaftlich erscheint. Dabei wird davon ausgegangen, dass Anlagen der Abwasserwärmerückgewinnung auch mehrere Gebäude versorgen können. Für die Siedlungsräume, in denen die Wirtschaftlichkeit einer Abwasserwärmerückgewinnung nicht bekannt ist, wird im Prognosemodell auch kein Wärmeertrag angenommen (Ausnutzung des Potenzials auf Null gesetzt). In Siedlungsräumen, in denen eine Abwasserwärmerückgewinnung wirtschaftlich erscheint, kann auf Sonnenkollektoren verzichtet werden. Die so freigewordene solare Nutzfläche kann photovoltaisch genutzt werden. Um eine Mehrfachzählung regenerativer Wärmeinputs zu vermeiden, wurde in diesen Fällen die Ausnutzung des Potenzials reduziert (Tab. 10).



Abb. 25 Bau einer Abwasserwärmerückgewinnung in gebäudenahen Schächten (FEKA2009).

Die Abwasserwärmerückgewinnung am Gebäude beeinträchtigt die Funktion von Klärwerken nicht, da das gekühlte Abwasser im Abwasserkanal die Temperatur des Bodens wieder aufnimmt. Der elektrische Hilfsenergiebedarf zum Betreiben der Wärmepumpen wird in der Bilanz berücksichtigt. Die Jahresarbeitszahl wird mit 3,5 angenommen. Es wird von 2.400 Jahresarbeitsstunden ausgegangen (Kalberer 2010).

**Tab. 10      Wirtschaftlichkeit der Abwasserwärmerückgewinnung nach Siedlungsraumtypen. In der Modellierung wird die Abwasserwärmerückgewinnung nur berücksichtigt, wenn sie wirtschaftlich erscheint. In diesem Fall sind keine Sonnenkollektoren erforderlich.**

| Nutzung       |  | SRT <sup>1</sup> [-] | Wirtschaftlichkeit   | Ausnutzung des Potenzials in % <sup>2</sup> |
|---------------|--|----------------------|----------------------|---|
| Misch-nutzung | Vorindustrielle Altstadt   | I                    | nicht wirtschaftlich | 0   |
|               | Innerstädtische Baublöcke der Gründer- und Vorkriegszeit             | II                   | wirtschaftlich       | 50  |
|               | Wiederaufbauensembles der 1950er Jahre                               | III                  | wirtschaftlich       | 50  |
|               | Dörfliche und kleinteilige Strukturen                                | IV                   | nicht wirtschaftlich | 0   |
| Wohnen        | Werks- und Genossenschafts-siedlungen der Gründer- und Vorkriegszeit | V                    | nicht wirtschaftlich | 0   |
|               | Siedlungen des sozialen Wohnungsbaus                                 | VI                   | wirtschaftlich       | 75  |
|               | Hochhäuser und Plattenbauten   | VII                  | wirtschaftlich       | 75  |
|               | Geschosswohnungsbau seit den 1960er Jahren                           | VIII                 | wirtschaftlich       | 75  |
|               | Einfamilienhausgebiete   | IX                   | nicht wirtschaftlich | 0   |
| Gewerbe       | Gewerbe- und Industriegebiete  | X                    | nicht bekannt        | 0   |
|               | Zweckbau   | XI                   | nicht wirtschaftlich | 0   |
| Misch-gewerbe | Gewerbe in Mischgebieten   | X-M                  | nicht bekannt        | 0   |

<sup>1</sup>Siedlungsraumtypen, <sup>2</sup>Schätzwerte.

### 5.5.6 Tiefengeothermie

Über 99 Prozent der Erde ist heißer als 1.000 Grad Celsius, nur die oberen 3 Kilometer sind kühler als 100 Grad Celsius. Die Nutzung der Erdwärme unter 3.000 Meter birgt somit ein quasi unerschöpfliches Potenzial für Strom- und Wärmeerzeugung. Geothermische Heizstationen und Heizkraftwerke nutzen dieses Potenzial auf unterschiedliche Weise (z. B. Dubletten-Systeme, Hot-Dry-Rock-Verfahren, etc.).

Unter der Annahme, dass das kristalline Grundgebirge in 3 Kilometern Tiefe ansteht und mit heutiger Bohrtechnik 7 Kilometer Tiefe routinemäßig erschlossen werden kann, steht pro Quadratkilometer Erdoberfläche ein Volumen von 4 Kubikkilometern Kristallingestein mit Temperaturen zwischen 100 Grad Celsius und 220 Grad Celsius zur Verfügung. Kühlt man dieses Volumen vollständig auf 10 Grad Celsius (mittlere Jahrestemperatur an der Erdoberfläche) ab, gewinnt man eine thermische Energie von 1.300 Petajoule (1Petajoule = 10<sup>15</sup> Joule).

Technisch lässt sich jedoch nur ein Teil des gesamten Wärmeinhalts nutzen. Das Verhältnis von praktisch gewinnbarer zu vorhandener Energie wird als Gewinnungsfaktor (recovery factor) bezeichnet. Mit intelligenten Erschließungstechnologien, insbesondere dem innovativen Multiriss-System, sollten sich Gewinnungsfaktoren um 20 Prozent erreichen lassen. Bei einem angenommenen Gewinnungsfaktor von 18 Prozent beträgt die aus 4 Kubikkilometer Gestein gewinnbare thermische Energie 230 Petajoule. Bei einem mittleren Wirkungsgrad von 11 Prozent lässt sich daraus elektrische Energie von 26 Petajoule gewinnen. Eine Mittelstadt mit 80.000 Einwohnern hat einen Jahreswärmebedarf von 5 Petajoule und einen Jahresstrombedarf von 2 Petajoule. Nimmt man an, dass sie eine Fläche von 50 Quadratkilometern einnimmt, so lässt sich leicht errechnen, dass die Kristallingesteine im Stadtgebiet den Wärme- und Strombedarf der Stadt über Jahrhunderte decken können.

Das letztendlich technisch nutzbare Potenzial wird durch lithologische und infrastrukturelle und zum Teil technische Restriktionen eingeschränkt. Die Abschätzung des Gesamtpotenzials zeigt aber, dass eine erhebliche Menge Energie aus den Tiefen der Erde gewonnen werden kann.

Mächtige und stark fördernde Heißwasserhorizonte sind in größeren Teufen mit hohen Temperaturen von über 130 Grad Celsius nicht zu erwarten. Insgesamt ist die Situation so einzuschätzen, dass die tiefen Grundwässer für die wirtschaftliche Nutzung hydrothermalen Verfahren entweder zu kalt sind oder keine ausreichende Schüttungsmenge erwarten lassen. Daher werden für Thüringen geothermische Technologien petrothermaler Systeme favorisiert. Im Variantenvergleich moderner Technologien wird unter thüringischen Bedingungen die Erhitzung der Wässer über zu erzeugende Multiriss-Systeme in den vorhandenen kompetenten Gesteinen als Erfolg versprechend betrachtet. Für die Induzierung von Erdstößen im Millimeter-Bereich bei Wasserinjektionen wird nur ein geringes seismisches Risiko prognostiziert.

Wirtschaftlich arbeitet eine solche Anlage bei einer Förderung von mindestens 100 Liter pro Sekunde und ca. 150 Grad Celsius Produktionstemperatur bei ca. 7.900 Jahresarbeitsstunden in den generell dafür geeigneten Gebieten in Thüringen. Die erforderliche Temperatur ist nach derzeitigem Kenntnisstand lokationsabhängig in Teufenbereichen von ca. 4.150 bis 5.200 Metern unter dem Gelände zu erwarten. Die Bewertung der tatsächlichen Eignung des thüringischen tiefen Untergrundes für moderne Verfahren der Tiefengeothermie, erste Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit der Nutzung wie auch das Aufzeigen möglicher Risiken sind wesentliche Voraussetzungen für weitere Entscheidungen zur Erschließung dieser Potenziale.

#### **5.5.7 Bioenergie**

Unter dem Oberbegriff Biomasse versteht man nach der Biomasseverordnung (2011) Energieträger aus der Phyto- und Zoomasse sowie deren Folge- und Nebenprodukte. Hieraus lassen sich dann feste, flüssige und gasförmige Energieträger gewinnen.

Zur Ableitung von Handlungsstrategien zum Ausbau der energetischen Biomassenutzung über einen relativ langfristigen Zeithorizont (bis 2050) wird das technische Biomassepotenzial herangezogen.

Während das theoretische Potenzial das gesamte, in Thüringen innerhalb eines Jahres theoretisch physikalisch nutzbare Biomasseaufkommen beschreibt, umfasst das technische Potenzial zunächst den Anteil am theoretischen Potenzial, der unter Berücksichtigung der technischen Restriktionen nutzbar ist. Zusätzlich sind strukturelle und ökologische Belange sowie die gesetzlichen Vorgaben zu berücksichtigen.

Zur Bestimmung der Biomassepotenziale wurden die Produktions- und Bereitstellungsoptionen in vier Hauptbereichen untersucht (Abb. 26):

- Holz,
- Ackerbau,
- Grünland sowie
- Rest- und Abfallstoffe.

Innerhalb dieser Hauptgruppen wurden Teilbereiche gesondert betrachtet, so beispielsweise im Bereich Holz: Waldholz, Sägewerksnebenprodukte, und Landschaftspflegematerial. Holzartige Anteile im Grünabfall und Altholz wurden dagegen der Gruppe „Rest- und Abfallstoffe“ zugeordnet, hierunter fallen auch die Reststoffe der Tierhaltung, wie Gülle und Festmist sowie der biogene Abfall und zusätzlich der klassische Hausmüll. Die Hauptgruppe „Ackerbau“ umfasst die gezielt zur energetischen Nutzung angebauten Pflanzen und das Nebenprodukt Stroh sowie die Nebenprodukte der Rapsöl- und Ethanolherstellung Rapspresskuchen bzw. Schlempe. In der Gruppe „Grünland“ werden die zu erwartenden Energiepotenziale aus der Grünlandnutzung erfasst.

Die verschiedenen biogenen Rohstoffe werden als feste, flüssige oder gasförmige Bioenergieträger zur Strom- und Wärmeerzeugung sowie zur Treibstoffgewinnung genutzt. Dabei zeichnet sich die kombinierte Erzeugung von Wärme und Strom in KWK-Anlagen durch eine besonders hohe energetische Gesamteffizienz aus. Daher wird dieser Option im Rahmen der Studie ein besonders hoher Stellenwert eingeräumt. Die Gewinnung von biogenen Treibstoffen wird dagegen nachrangig betrachtet.

Die Erläuterung der in der Studie gebrauchten Begriffe zur Beschreibung und Eingrenzung der verschiedenen betrachteten Biomassefraktionen erfolgt im Anhang 1.

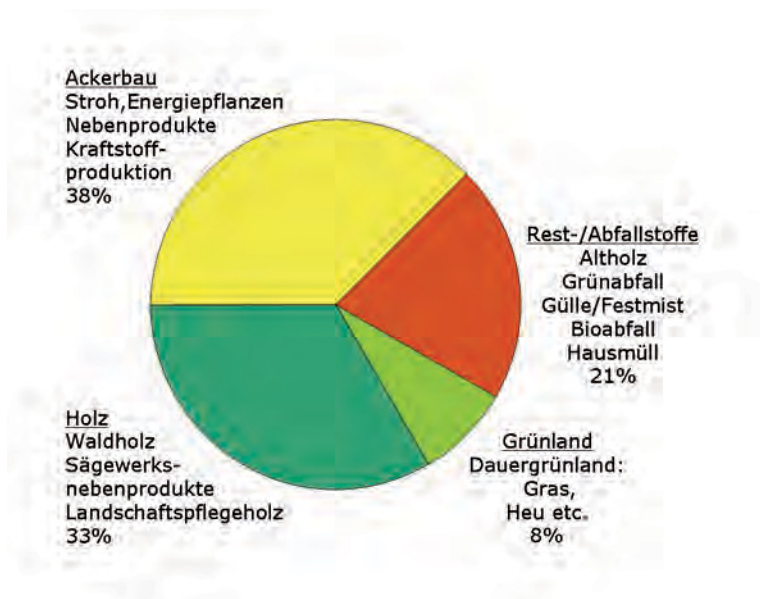


Abb. 26 Hauptgruppen und Unterbereiche für die Ermittlung der Biomassepotenziale in Thüringen (eigene Darstellung).

## 5.6 Einführungsraten

Die Realisierung von Technologien folgt einem komplexen Prozess der Markteinführung. Grundsätzlich ist von drei Phasen auszugehen: In der ersten Phase wird die Technologie eher zögerlich umgesetzt. Die Technik ist noch nicht ausgereift und noch zu teuer. Es gibt erst wenige Firmen, die sie anbieten, wenige Interessenten, die ihre Bedeutung erkennen und kaum Erfahrungen, die gesammelt werden konnten. Der Markt beobachtet und analysiert die ersten Ergebnisse, um dann, wenn sich eine Technologie als erfolgreich erweist, sie in der zweiten Phase umso zügiger umzusetzen. Diese schwächt sich jedoch wieder ab und mündet in eine dritte Phase, in der sich das Potenzial erschöpft. Mit Bezug auf die regenerative Energieerzeugung bedeutet dies zum Beispiel, dass es schließlich kaum noch solar nutzbare Flächen oder Bohrplätze für Erdwärmesonden gibt.

In der Leitstudie 2010 des BMU (BMU 2010) wird im Basisszenario eine Markteinführung für verschiedene regenerative Optionen simuliert. 2010 befinden wir uns bereits in der zweiten Phase der Markteinführung, die bis zum Prognosehorizont in die dritte Phase übergeht. Das Basisszenario der Leitstudie wird auf das thüringische Referenzszenario übertragen. Tatsächlich sind die machbaren Potenziale für Photovoltaik, Erd- und Abwasserwärme in Thüringen erheblich höher. Im ambitionierten Szenario wird die Hälfte der machbaren Potenziale genutzt, im Exzellenzszenario 90 Prozent. In den folgenden Abbildungen sind die szenarienspezifischen Einführungsraten für die Photovoltaik (Abb. 27), Solarthermie (Abb. 28), Abwasserwärme (Abb. 29) und oberflächennahe Geothermie (Abb. 30) dargestellt.

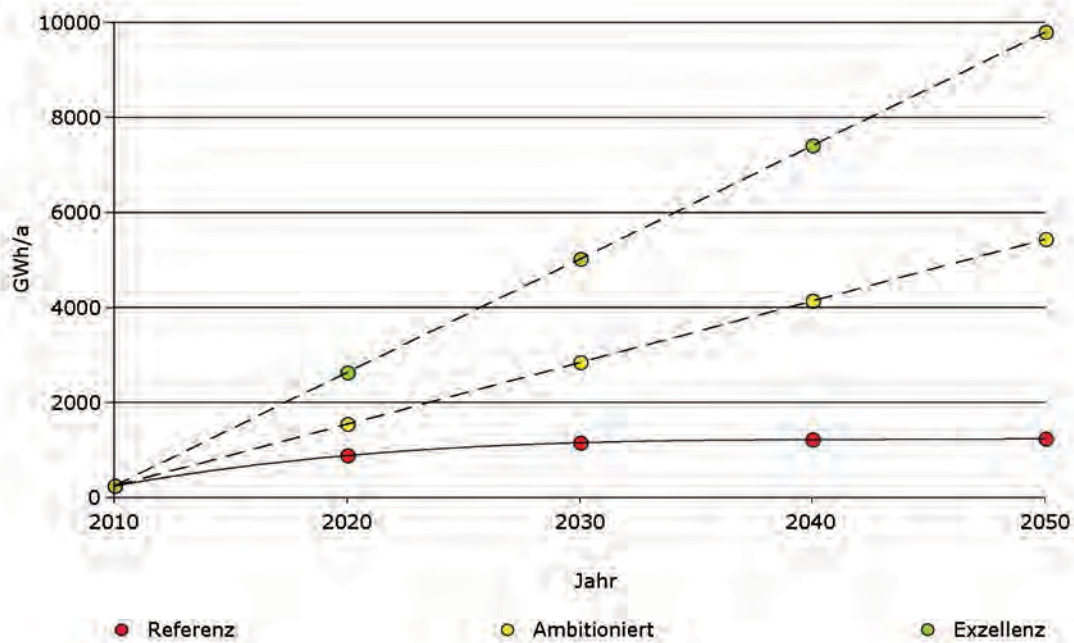


Abb. 27 Zunahme des photovoltaischen Potenzials in den drei Szenarien bis zum Prognosehorizont (Dach- und Fassadenanlagen) (nach BMU 2010 und eigenen Berechnungen).

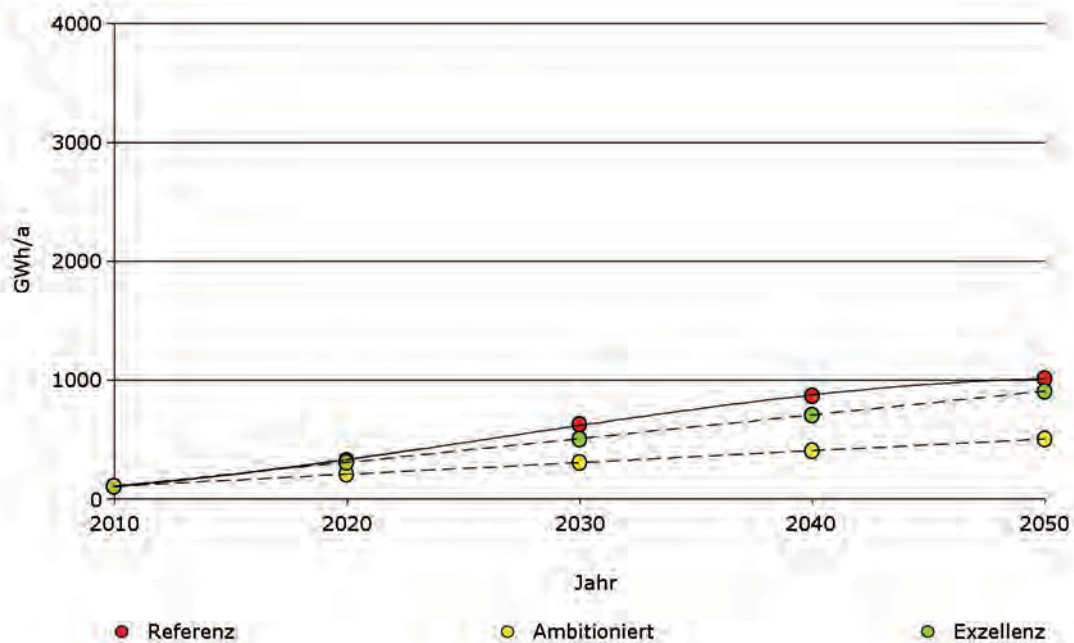


Abb. 28 Zunahme des solarthermischen Potenzials in den drei Szenarien bis zum Prognosehorizont (Dach- und Fassadenanlagen) (nach BMU 2010 und eigenen Berechnungen).

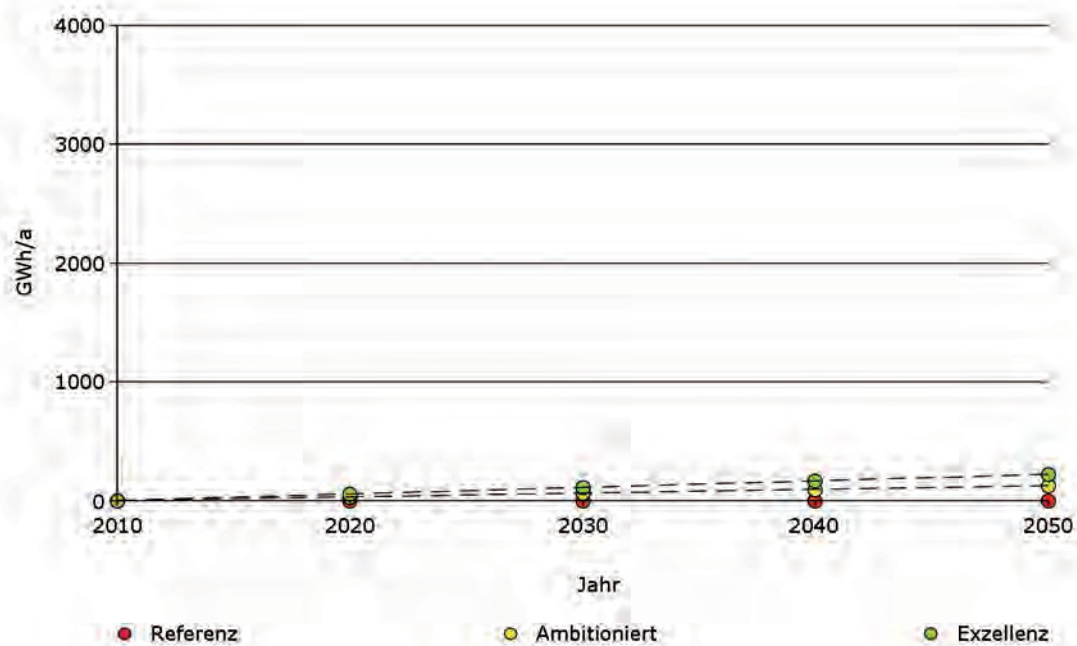


Abb. 29 Zunahme der Abwasserwärmerückgewinnung in den drei Szenarien bis zum Prognosehorizont (nach BMU 2010 und eigenen Berechnungen).

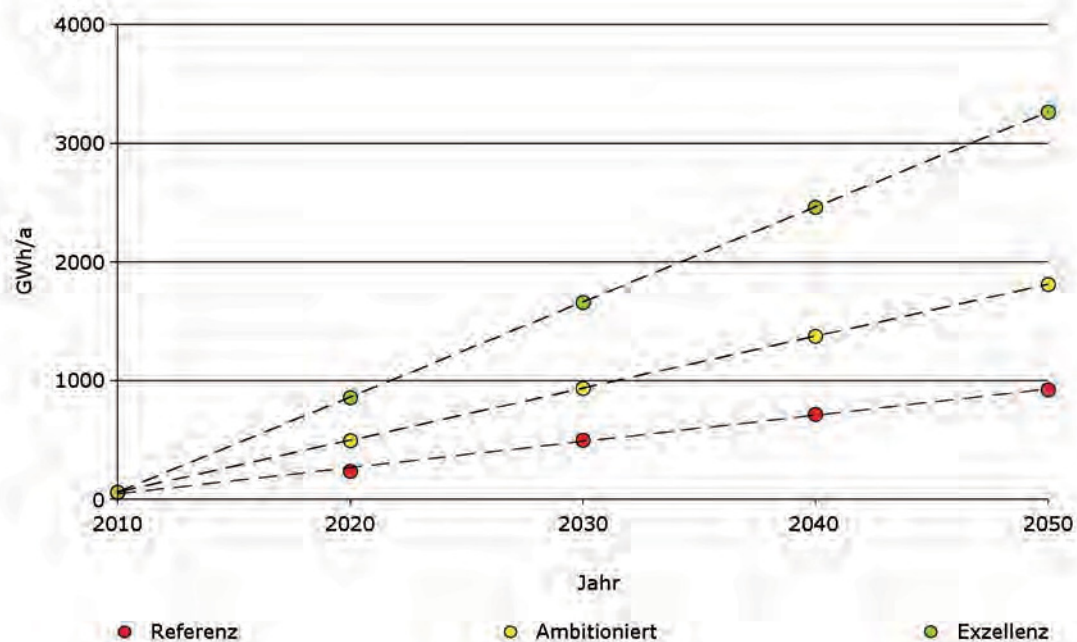


Abb. 30 Zunahme des flachen geothermischen Potenzials (Erdwärmesonden) in den drei Szenarien bis zum Prognosehorizont (nach BMU 2010 und eigenen Berechnungen).



## 6 Energiebedarf in Thüringen

### 6.1 Zusammenfassung

Auf der Grundlage der Energiebilanz Thüringens (TLS 2011) lässt sich der aktuelle Energieverbrauch für alle Verbrauchssektoren und alle Formen der Endenergie ermitteln:

- Der aktuelle Endenergieverbrauch liegt in Thüringen bei etwa 56.000 Gigawattstunden pro Jahr (2010). Er setzt sich zusammen aus Wärme (Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme), Strom und Treibstoffen.
- Der Pro-Einwohner-Verbrauch liegt bei knapp 25.000 Kilowattstunden pro Jahr und somit unter dem Bundesdurchschnitt von knapp 30.000 Kilowattstunden.
- 49 Prozent der Endenergie werden als Wärme, 24 Prozent als Strom und 27 Prozent als Treibstoffe verbraucht. 46 Prozent werden im Sektor Arbeiten, 29 Prozent im Sektor Wohnen und 25 Prozent im Sektor Mobilität verbraucht.

Der Endenergieverbrauch wird sich bis 2050 je nach Zukunftsszenario (Kap. 4) entsprechend entwickeln. Für das Referenzszenario gilt:

- Der Gesamtenergieverbrauch wird um etwa 30 Prozent abnehmen.
- Insbesondere der Raumwärmeverbrauch wird deutlich abnehmen.
- Der Warmwasser- und Prozesswärmeverbrauch bleibt dagegen stabil.
- Der Treibstoffverbrauch nimmt deutlich ab.
- Bezogen auf den Pro-Einwohner-Verbrauch nimmt der Raumwärmeverbrauch ab, wie auch der Treibstoffbedarf. Der Prozesswärmeverbrauch sowie der Stromverbrauch nehmen dagegen zu.

Die Verbrauchsanalyse macht auch regionale Unterschiede deutlich.

### 6.2 Aktueller Energieverbrauch

In dieser Studie wird der Endenergiebedarf siedlungsraumspezifisch dargestellt. Bei diesem flächenbezogenen Ansatz werden die verwirklichten städtebaulichen Leitbilder und somit auch die historische Entwicklung der Siedlungsräume berücksichtigt. Der jährliche Energiebedarf eines Hektars Stadtraum ergibt sich aus der Energiebezugsfläche und dem Energiebedarf pro Quadratmeter. Der auf dieser Grundlage ermittelte Energiebedarf wird mit Energieverbrauchsmessungen und statistischen Angaben abgeglichen.

Der aktuelle Endenergieverbrauch wurde anhand der Energiebilanzen Thüringens 2000 bis 2008 (TLS 2011) für das Jahr 2010 hochgerechnet und auf die verschiedenen Energiesektoren und Energiearten verteilt. Dabei wurden sowohl statistische Vorgaben (TLS 2011, TMLFUN 2010), als auch Erfahrungswerte der Projektgruppe „Thüringer Potenzialatlas“ genutzt.

Der Endenergiebedarf wird auf die Energiebezugsflächen der verschiedenen Siedlungsraumtypen bezogen (Tab. 11). Die Modellierung über die Energiebezugsflächen (siehe Abschnitt 5.3 Energieflächen) ermöglicht es, den Endenergiebedarf für bestimmte Siedlungsraumtypen, Teilräume (zum Beispiel die Planungsregionen) und Sektoren (Wohnen, Arbeiten, Mobilität) darzustellen. Dabei lassen sich die verschiedenen Verbrauchsarten (Wärme, Strom, Treibstoffe) unterscheiden.

In Tabelle 12 ist der aktuelle Endenergiebedarf nach Verbrauchsarten (Wärme, Strom und Treibstoffe) ausgewiesen. Dargestellt sind der Gesamtverbrauch im Freistaat sowie der Pro-Einwohner-Verbrauch. Etwa ein Viertel der Endenergie wird als Raumwärme genutzt, ein Viertel für Warmwasser und Prozesswärme. Wärme macht demnach etwa die Hälfte des Endenergieverbrauchs aus. Der Rest verteilt sich zu 24 Prozent auf Strom und 27 Prozent auf Treibstoffe. Ein ähnliches Bild zeigt sich für den Energieverbrauch Deutschlands. Allerdings ist der mittlere Pro-Einwohner-Bedarf in Thüringen geringer als in Deutschland. Abbildung 31 verdeutlicht die relative Verteilung der Verbrauchsarten in Thüringen auf die Siedlungsraumtypen bezogen.

Regional betrachtet hat Südwestthüringen den größten Raumwärmebedarf pro Einwohner. Hier ist auch der Strombedarf pro Einwohner am höchsten. Der Warmwasser und Prozesswärmebedarf ist pro Einwohner etwa gleich. Die Mobilitätswerte unterscheiden sich regional nicht, da Mittelwerte für ganz Thüringen angenommen wurden.

Tabelle 13 zeigt den jährlichen Endenergiebedarf nach Verbrauchssektoren (Wohnen, Arbeiten, Mobilität). Danach haben die Energiesektoren Wohnen und Mobilität jeweils einen Anteil von einem Viertel am gesamten Endenergiebedarf, der Rest entfällt auf den Energiesektor Arbeiten. Abbildung 32 verdeutlicht diesen Zusammenhang. Im Vergleich mit dem Bundesdurchschnitt wird im Sektor Wohnen weniger Energie verbraucht. Dies ist zum einen auf die in den Neuen Bundesländern (noch) geringere Wohnfläche pro Einwohner zurück zu führen. Die durchschnittliche Wohnfläche pro Person in Ostdeutschland liegt bei 38,6 Quadratmetern, in Westdeutschland dagegen bei 44,0 Quadratmetern (DESTATIS 2008). Dazu kommt in Ostdeutschland ein generell geringerer Stromverbrauch pro Einwohner. Die Begründung ist in der Fachwelt nicht einheitlich: es spielen mehrere Faktoren eine Rolle – u. a. die geringere Kaufkraft und die Tatsache, dass in den neuen Ländern effizientere (neuere) Elektrogeräte vorhanden sind, da es in den letzten Jahren mehr Ersatzinvestitionen als in den alten Bundesländern gab.

Auch der Energieverbrauch im Sektor Arbeiten ist etwas geringer als der Bundesdurchschnitt, wie auch der Energieverbrauch im Sektor Mobilität.

**Tab. 11 Endenergiebedarf pro Energiebezugsfläche in den Planungsregionen Thüringens.**

| Nutzung   | SRT <sup>1</sup> | Siedlungsraumtypen  | Raumwärme <sup>2</sup> | Warmwasser / Prozesswärme <sup>3</sup> | Strom <sup>4</sup> | Treibstoffe |
|---|------------------|---|------------------------|--|--------------------|-------------|
| MWh <sub>End</sub> /m <sup>2</sup> a <sup>5</sup> |                  |   |                        |  |                    |             |
| Mischnutzung                                      | I                | Vorindustrielle Altstadt  | 0,186                  | 0,030                                  | 0,034              | 0,003       |
|   | II               | Innerstädtische Baublöcke der Gründer- und Vorkriegszeit            | 0,154                  | 0,030                                  | 0,034              | 0,003       |
|   | III              | Wiederaufbauensembles der 1950er Jahre                              | 0,166                  | 0,030                                  | 0,034              | 0,003       |
|   | IV               | Dörfliche und kleinteilige Strukturen                               | 0,124                  | 0,030                                  | 0,034              | 0,003       |
| Wohnen  | V                | Werks- und Genossenschaftssiedlungen der Gründer- und Vorkriegszeit | 0,160                  | 0,030                                  | 0,034              | 0,003       |
|   | VI               | Siedlungen des sozialen Wohnungsbaus                                | 0,160                  | 0,030                                  | 0,034              | 0,003       |
|   | VII              | Hochhäuser und Plattenbauten  | 0,136                  | 0,030                                  | 0,034              | 0,003       |
|   | VIII             | Geschosswohnungsbau seit den 1960er Jahren                          | 0,114                  | 0,030                                  | 0,034              | 0,003       |



| Nutzung                              | SRT <sup>1</sup> | Siedlungsraumtypen               | Raum-<br>wärme <sup>2</sup> | Warm-<br>wasser /<br>Prozess-<br>wärme <sup>3</sup> | Strom <sup>4</sup> | Treib-<br>stoffe |
|--------------------------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------|---|--------------------|------------------|
| MWh <sub>End</sub> /m²a <sup>5</sup> |                  |                                  |                             |   |                    |                  |
|                                      | IX               | Einfamilienhausgebiete           | 0,106                       | 0,030   | 0,034              | 0,003            |
| Gewerbe <sup>6</sup>                 | X                | Gewerbe- und<br>Industriegebiete | 0,015                       | 0,104   | 0,086              | 0,010            |
|                                      | XI               | Zweckbau                         | 0,081                       | 0,038   | 0,086              | 0,010            |
| Misch-<br>gewerbe <sup>6</sup>       | X-M              | Gewerbe in Misch-<br>gebieten    | 0,081                       | 0,038   | 0,086              | 0,010            |

<sup>1</sup>Siedlungsraumtyp; <sup>2</sup>nach Everding (2007) und BBR/BBSR & BMVBS (2009a) aktueller Heizwärmebedarf unter Berücksichtigung von 20% saniertem Bestand; <sup>3</sup>abgeschätzt nach VDI 3807 Blatt 2 Tab. 6 und 7 sowie Verbrauchsmessungen in anderen Modellräumen; <sup>4</sup>abgeschätzt nach Erfahrungswerten und Messungen in anderen Modellgebieten; <sup>5</sup>Megawattstunden Endenergie pro Quadratmeter und Jahr; <sup>6</sup>gleichmäßig über Gewerbe-Handel-Dienstleistung und Industrie verteilt (weitere Aufteilung nicht möglich).

**Tab. 12 Aktueller Endenergiebedarf nach Verbrauchsart<sup>1</sup>.**

| Energiebedarf                         | Raum-<br>wärme <sup>2</sup> | Warm-<br>wasser/<br>Prozess-<br>wärme <sup>2</sup> | Strom   | Treibstoffe | Summe     |
|---------------------------------------|-----------------------------|--|---------|-------------|-----------|
| GWh <sub>End</sub> /a <sup>3</sup>    |                             |  |         |             |           |
| Mittelthüringen                       | 4.133                       | 3.614  | 3.785   | 4.656       | 16.188    |
| Nordthüringen                         | 2.641                       | 2.084  | 2.218   | 2.645       | 9.588     |
| Ostthüringen                          | 4.419                       | 4.101  | 4.224   | 4.820       | 17.563    |
| Südwestthüringen                      | 3.390                       | 2.792  | 2.962   | 3.225       | 12.370    |
| Thüringen                             | 14.583                      | 12.591   | 13.189  | 15.345      | 55.708    |
| Deutschland <sup>4</sup>              | 1.219.722 (Wärme gesamt)    |  | 506.111 | 671.389     | 2.397.222 |
| kWh <sub>End</sub> /EW*a <sup>5</sup> |                             |  |         |             |           |
| Mittelthüringen                       | 6.092                       | 5.327  | 5.579   | 6.863       | 23.860    |
| Nordthüringen                         | 6.853                       | 5.409  | 5.755   | 6.863       | 24.880    |
| Ostthüringen                          | 6.291                       | 5.838  | 6.014   | 6.863       | 25.005    |
| Südwestthüringen                      | 7.215                       | 5.943  | 6.304   | 6.863       | 26.324    |
| Thüringen                             | 6.522                       | 5.631  | 5.898   | 6.863       | 24.913    |
| Deutschland <sup>4</sup>              | 15.146 (Wärme gesamt)       |  | 6.284   | 8.337       | 29.767    |

<sup>1</sup>Summenabweichungen entstehen durch Rundungs- und Approximationsfehler; <sup>2</sup>in Anlehnung an Prognos & Ökoinstitut (2009: 77, 90) wurden Raumwärme und Prozesswärme im Sektor Gewerbe-Handel-Dienstleistung (GHD) in 68% Raumwärme und 32% Prozesswärme, im Sektor Industrie in 13% Raumwärme und 87% Prozesswärme aufgeteilt; <sup>3</sup>Gigawattstunden Endenergie pro Jahr; <sup>4</sup>nach Leitstudie 2010 (BMU 2010: 6); <sup>5</sup>Kilowattstunden pro Einwohner und Jahr.

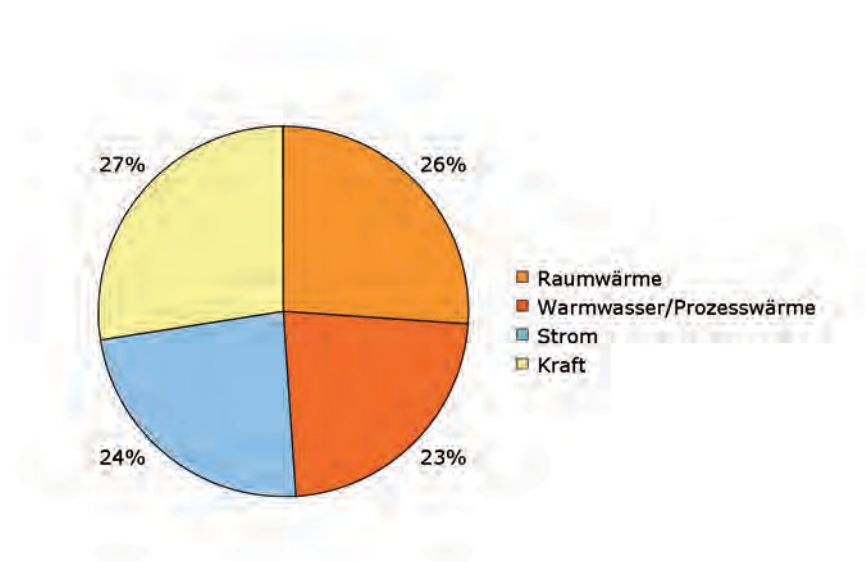


Abb. 31 Relativer Endenergiebedarf nach Verbraucharten 2010 in Thüringen (nach TLS 2011, TMLFUN 2010).

Tab. 13 Aktueller Endenergiebedarf nach Verbrauchssektoren<sup>1</sup>.

| Energie-<br>bedarf                    | Raum-<br>wärme <sup>2</sup> | Warm-<br>wasser/<br>Prozess-<br>wärme <sup>2</sup> | Strom                      | Treibstof-<br>fe           | Endenergiebedarf<br>Thüringen | Deutschland <sup>3</sup> |
|---------------------------------------|-----------------------------|--|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| GWh <sub>End</sub> /a <sup>4</sup>    |                             |  |                            |                            |                               |                          |
| Wohnen                                | 10.635                      | 2.573  | 2.896                      | 257                        | 16.361                        | 698.777                  |
| Arbeiten                              | 3.952                       | 10.019   | 10.026                     | 1.158                      | 25.156                        | 1.013.370                |
| Mobilität                             | 0                           | 0  | 252                        | 13.933                     | 14.185                        | 685.075                  |
| <b>Gesamt</b>                         | <b>14.583 <sup>6</sup></b>  | <b>12.591 <sup>6</sup></b>                         | <b>13.189 <sup>6</sup></b> | <b>15.345 <sup>6</sup></b> | <b>55.708 <sup>6</sup></b>    | <b>2.397.222</b>         |
| kWh <sub>End</sub> /EW*a <sup>5</sup> |                             |  |                            |                            |                               |                          |
| Wohnen                                | 4.756                       | 1.151  | 1.295                      | 115                        | 7.317                         | 8.913                    |
| Arbeiten                              | 1.767                       | 4.481  | 4.484                      | 518                        | 11.250                        | 12.925                   |
| Mobilität                             | 0                           | 0  | 113                        | 6.231                      | 6.344                         | 8.738                    |
| <b>Gesamt</b>                         | <b>6.522</b>                | <b>5.631</b>                                       | <b>5.898</b>               | <b>6.863</b>               | <b>24.913</b>                 | <b>30.576</b>            |

<sup>1</sup>Summenabweichungen entstehen durch Rundungs- und Approximationsfehlern; <sup>2</sup>in Anlehnung an Prognos & Ökoinstitut (2009: 77, 90) wurden Raumwärme und Prozesswärme im Sektor Gewerbe-Handel-Dienstleistung (GHD) in 68% Raumwärme und 32% Prozesswärme, im Sektor Industrie in 13% Raumwärme und 87% Prozesswärme aufgeteilt; <sup>3</sup>Werte nach Prognos & Ökoinstitut (2009), interpoliert auf das Jahr 2010 und angepasst mit den Werten aus der Leitstudie 2010 (BMU 2010) (die Werte von Prognos/Ökoinstitut weichen etwa 3% von der aktuellen Leitstudie ab); <sup>4</sup>Gigawattstunden Endenergie pro Jahr; <sup>5</sup>Kilowattstunden pro Einwohner und Jahr. <sup>6</sup>Es wurde eine andere Methodik gewählt als bei der Erstellung amtlicher Energiebilanzen. So wurden beispielsweise witterungs- & konjunkturbedingte Einflüsse in einem geringen Maße berücksichtigt.

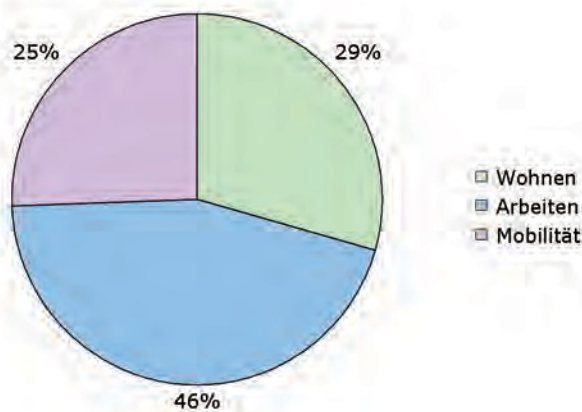


Abb. 32 Relativer Endenergiebedarf nach Verbrauchssektoren 2010 (nach TLS 2011, TMLFUN 2010,).

### 6.3 Zukünftiger Energiebedarf

In Thüringen wird der gesamte Endenergieverbrauch deutlich zurückgehen. Die Ursachen dafür sind:

- Energieeffizienzmaßnahmen,
- Energieeinsparungen (Suffizienz) und der
- Bevölkerungsrückgang.

Die Entwicklung des Energiebedarfs differiert von Szenario zu Szenario (siehe Abschnitt 4 Zukunftsszenarien).

Die Abbildungen 33 und 34 verdeutlichen die Abnahme des Energiebedarfs im Referenzszenario zwischen 2010 und dem Prognosehorizont (2050). Die Werte sind demographie- und klimabereinigt, d.h. sowohl die Bevölkerungsentwicklung als auch der Klimawandel wurden berücksichtigt. Im Referenzszenario nimmt der Gesamtendenergiebedarf um etwa 30 Prozent ab, insbesondere der Raumwärmebedarf (56 Prozent), was auf die Sanierung im Bestand (1 Prozent pro Jahr) und die Verschärfung der Heizwärmestandards zurück zu führen ist. Der Warmwasser- und Prozesswärmebedarf bleibt dagegen in seiner Summe stabil, wie auch der Strombedarf, bei dem Klimatisierung (Klimawandel) und Hilfsstrom (Wärmepumpen) bereits berücksichtigt sind. Im Sektor Mobilität ist eine deutliche Abnahme des Treibstoffbedarfs (44 Prozent) aufgrund effizienterer Motoren und der allmählichen Einführung der Elektromobilität zu konstatieren. Da auch im Referenzszenario von einer Steigerung der Wirtschaftskraft Thüringens ausgegangen wird, ist die Abnahme des Energiebedarfs im Sektor Arbeiten vergleichsweise gering. In Tabelle 14 ist der absolute Energiebedarf noch einmal für alle Zeitschnitte und Planungsregionen dargestellt. In Südwestthüringen ist die Abnahme des Gesamtenergieverbrauchs besonders deutlich, da hier die größte Abnahme der Bevölkerung prognostiziert wird.

Bezogen auf den Pro-Einwohner-Verbrauch ist der Rückgang des Raumwärmebedarfs nicht so stark ausgeprägt (22 Prozent), da auch die Einwohnerzahl abnimmt (siehe Abschnitt 3.4 Demographische Entwicklung). Auch der Treibstoffbedarf nimmt nur wenig ab (13 Prozent). Prozesswärme- und Strombedarf nimmt pro Einwohner sogar zu, insbesondere im Sektor Arbeiten. Die Abnahme des Pro-Einwohner-Raumwärmeverbrauchs ist in allen Planungsregionen etwa gleich ausgeprägt, wie auch die Abnahme des Treibstoffverbrauchs. In Nordthüringen und Ostthüringen nehmen der Prozesswärme- und der Stromverbrauch pro Einwohner deutlicher zu als in den anderen Planungsregionen. In Tabelle 15 ist der Pro-Einwohner-Energiebedarf noch einmal für alle Zeitschnitte und Planungsregionen dargestellt.

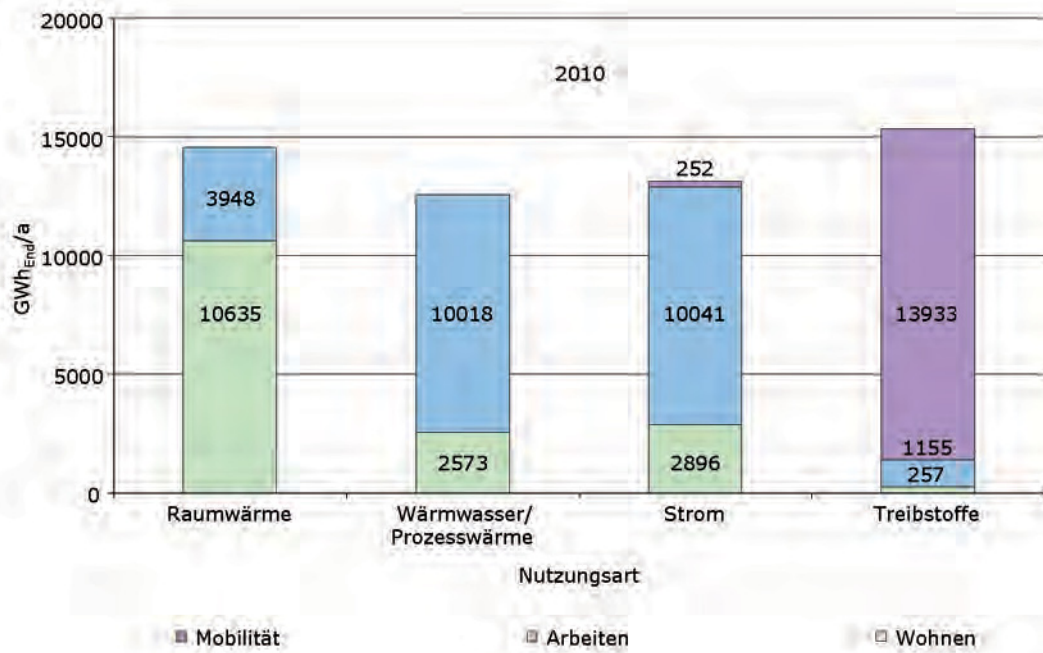


Abb. 33 Absoluter Endenergiebedarf aller Energiesektoren im Referenzszenario nach Nutzungsart in Thüringen (2010) (eigene Darstellung).

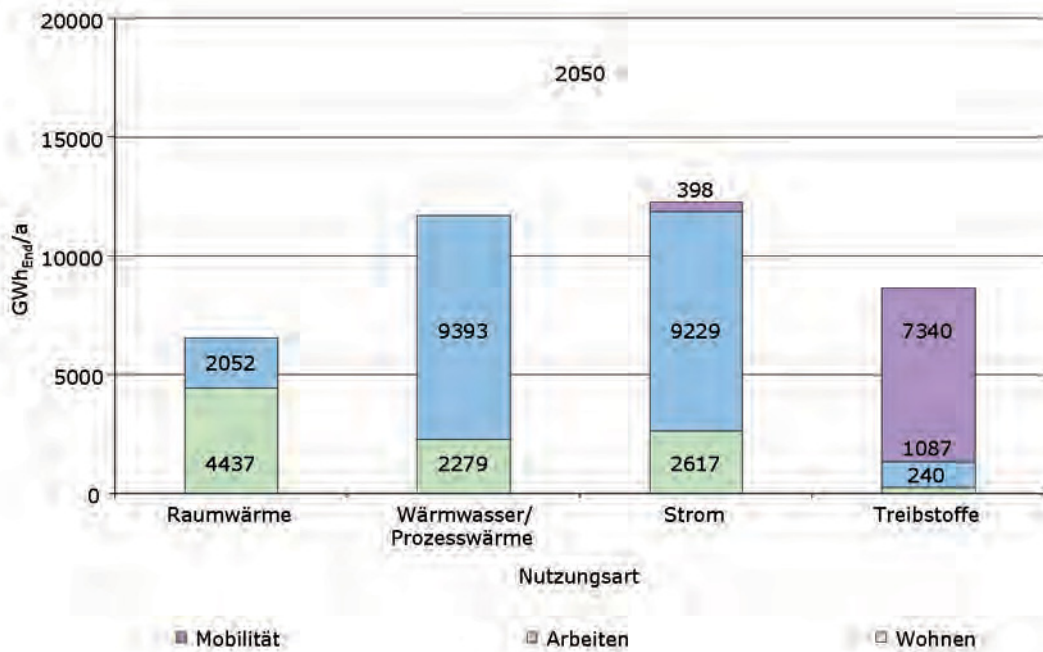


Abb. 34 Absoluter Endenergiebedarf aller Energiesektoren im Referenzszenario nach Nutzungsart in Thüringen (2050) (eigene Darstellung).

**Tab. 14 Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat Thüringen im Referenzszenario.**

| Energiebedarf                      | Raumwärme | Warmwasser/<br>Prozess-<br>wärme | Strom  | Treibstoffe | Summe  |
|------------------------------------|-----------|----------------------------------|--------|-------------|--------|
| GWh <sub>End</sub> /a <sup>1</sup> |           |                                  |        |             |        |
| <b>Mittelthüringen</b>             |           |                                  |        |             |        |
| 2010                               | 4.133     | 3.614                            | 3.785  | 4.656       | 16.188 |
| 2020                               | 3.727     | 3.673                            | 3.869  | 4.376       | 15.646 |
| 2030                               | 3.186     | 3.687                            | 3.910  | 4.061       | 14.843 |
| 2040                               | 2.622     | 3.658                            | 3.923  | 3.728       | 13.932 |
| 2050                               | 2.279     | 3.613                            | 3.938  | 3.382       | 13.212 |
| <b>Nordthüringen</b>               |           |                                  |        |             |        |
| 2010                               | 2.641     | 2.084                            | 2.218  | 2.645       | 9.588  |
| 2020                               | 2.231     | 2.074                            | 2.198  | 2.296       | 8.799  |
| 2030                               | 1.769     | 2.028                            | 2.141  | 1.974       | 7.912  |
| 2040                               | 1.336     | 1.952                            | 2.059  | 1.428       | 6.775  |
| 2050                               | 1.051     | 1.861                            | 1.966  | 1.313       | 6.192  |
| <b>Ostthüringen</b>                |           |                                  |        |             |        |
| 2010                               | 4.419     | 4.101                            | 4.224  | 4.820       | 17.563 |
| 2020                               | 3.764     | 4.088                            | 4.190  | 4.185       | 16.226 |
| 2030                               | 3.014     | 4.014                            | 4.094  | 3.628       | 14.749 |
| 2040                               | 2.311     | 3.886                            | 3.954  | 3.023       | 13.174 |
| 2050                               | 1.848     | 3.731                            | 3.793  | 2.443       | 11.816 |
| <b>Südwestthüringen</b>            |           |                                  |        |             |        |
| 2010                               | 3.390     | 2.792                            | 2.962  | 3.225       | 12.370 |
| 2020                               | 2.851     | 2.772                            | 2.917  | 2.779       | 11.319 |
| 2030                               | 2.245     | 2.704                            | 2.822  | 2.366       | 10.138 |
| 2040                               | 1.683     | 2.596                            | 2.694  | 1.690       | 8.662  |
| 2050                               | 1.310     | 2.468                            | 2.548  | 1.527       | 7.852  |
| <b>Thüringen</b>                   |           |                                  |        |             |        |
| 2010                               | 14.583    | 12.591                           | 13.189 | 15.345      | 55.708 |
| 2020                               | 12.573    | 12.607                           | 13.174 | 13.720      | 52.073 |
| 2030                               | 10.214    | 12.433                           | 12.967 | 12.028      | 47.643 |
| 2040                               | 7.953     | 12.091                           | 12.631 | 10.328      | 43.003 |
| 2050                               | 6.489     | 11.673                           | 12.244 | 8.666       | 39.072 |

<sup>1</sup>Gigawattstunden Endenergie pro Jahr.

**Tab. 15 Pro-Einwohner-Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat Thüringen im Referenzszenario.**

| Energiebedarf                         | Raumwärme | Warmwasser/<br>Prozess-<br>wärme | Strom | Treibstoffe | Summe  |
|---------------------------------------|-----------|----------------------------------|-------|-------------|--------|
| kWh <sub>End</sub> /EW*a <sup>1</sup> |           |                                  |       |             |        |
| <b>Mittelthüringen</b>                |           |                                  |       |             |        |
| 2010                                  | 6.092     | 5.327                            | 5.579 | 6.863       | 23.860 |
| 2020                                  | 5.740     | 5.657                            | 5.960 | 6.740       | 24.097 |
| 2030                                  | 5.123     | 5.930                            | 6.287 | 6.530       | 23.870 |
| 2040                                  | 4.402     | 6.140                            | 6.585 | 6.258       | 23.385 |
| 2050                                  | 4.004     | 6.347                            | 6.918 | 5.942       | 23.212 |
| <b>Nordthüringen</b>                  |           |                                  |       |             |        |
| 2010                                  | 6.853     | 5.409                            | 5.755 | 6.863       | 24.880 |
| 2020                                  | 6.491     | 6.034                            | 6.394 | 6.680       | 25.599 |
| 2030                                  | 5.850     | 6.708                            | 7.081 | 6.530       | 26.169 |
| 2040                                  | 5.103     | 7.454                            | 7.865 | 5.454       | 25.877 |
| 2050                                  | 4.756     | 8.421                            | 8.894 | 5.942       | 28.014 |
| <b>Ostthüringen</b>                   |           |                                  |       |             |        |
| 2010                                  | 6.291     | 5.838                            | 6.014 | 6.863       | 25.005 |
| 2020                                  | 6.007     | 6.524                            | 6.687 | 6.680       | 25.898 |
| 2030                                  | 5.426     | 7.225                            | 7.370 | 6.530       | 26.551 |
| 2040                                  | 4.784     | 8.043                            | 8.186 | 6.258       | 27.272 |
| 2050                                  | 4.495     | 9.074                            | 9.225 | 5.942       | 28.736 |
| <b>Südwestthüringen</b>               |           |                                  |       |             |        |
| 2010                                  | 7.215     | 5.943                            | 6.304 | 6.863       | 26.324 |
| 2020                                  | 6.852     | 6.663                            | 7.011 | 6.680       | 27.206 |
| 2030                                  | 6.197     | 7.464                            | 7.789 | 6.530       | 27.980 |
| 2040                                  | 5.434     | 8.378                            | 8.695 | 5.454       | 27.960 |
| 2050                                  | 5.101     | 9.605                            | 9.917 | 5.942       | 30.565 |
| <b>Thüringen</b>                      |           |                                  |       |             |        |
| 2010                                  | 6.522     | 5.631                            | 5.898 | 6.863       | 24.913 |
| 2020                                  | 6.176     | 6.193                            | 6.472 | 6.740       | 25.581 |
| 2030                                  | 5.545     | 6.750                            | 7.040 | 6.530       | 25.864 |
| 2040                                  | 4.819     | 7.326                            | 7.653 | 6.258       | 26.055 |
| 2050                                  | 4.450     | 8.004                            | 8.396 | 5.942       | 26.793 |

<sup>1</sup>Kilowattstunden Endenergie pro Einwohner und Jahr.

Das ambitionierte Szenario und das Exzellenzszenario unterscheiden sich vom Referenzszenario insofern, als dass in den „A-Szenarien“ (ambitioniertes Szenario A und Exzellenzszenario A) der Stromverbrauch pro Einwohner deutlicher zunimmt, da infolge der Steigerung der dezentralen regenerativen Wärmebereitstellung mehr Wärmepumpenstrom benötigt wird. In Summe wird der Stromverbrauch bis 2020 leicht ansteigen und danach allmählich zurückgehen. Ab diesem Zeitpunkt überkompensiert der Bevölkerungsrückgang den eigentlich zunehmenden Strombedarf (siehe Anhang 2). In den „B-Szenarien“ (ambitioniertes Szenario B und Exzellenzszenario B) greifen zusätzliche Effizienzmaßnahmen in allen Verbrauchsbereichen (siehe auch Tabelle „Stellschrauben“ in Abschnitt 4.4.), so dass der Endenergiebedarf bis zum Prognosehorizont deutlich abnimmt. Abbildung 35 verdeutlicht diesen Zusammenhang für den Stromverbrauch. In Anhang 2 sind die Verbrauchswerte im Referenzszenario, im ambitionierten und im Exzellenzszenario noch einmal vergleichend gegenüber gestellt.

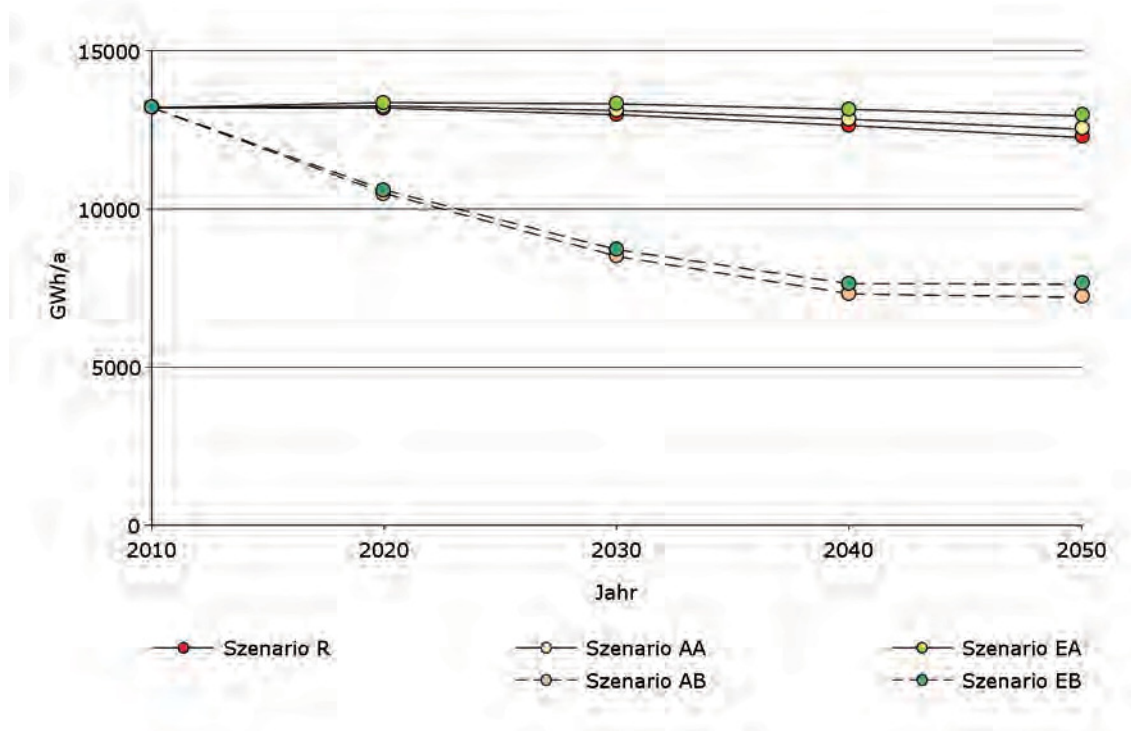


Abb. 35 Der absolute Stromverbrauch nimmt zu, sobald mehr Wärmepumpenstrom benötigt wird. Dies zeigt die Veränderung von Szenario R (Referenz) zu AA (ambitioniert) und EA (Exzellenz). Durch Effizienzmaßnahmen kann der Stromverbrauch noch deutlich gesenkt werden (Szenario AB und EB) (eigene Darstellung).

## 7 Erneuerbare Energie in Thüringen

### 7.1 Zusammenfassung

Thüringen nutzt bereits regenerative Energien in vielfältiger Weise. Für den Wärmebereich gilt:

- Die regenerative Wärmebereitstellung durch die Biomasse dominiert (etwa 90 Prozent).
- Der Beitrag von Sonnenkollektoren liegt aktuell um zwei Prozent.
- Die Wärmebereitstellung durch Erdwärmesonden ist derzeit noch vernachlässigbar gering.
- Die Abwasserwärme wird noch nicht genutzt.
- Pro Einwohner wird fast doppelt so viel regenerative Wärme bereitgestellt wie im Bundesdurchschnitt.

Für den Strombereich gilt:

- Am meisten Strom wird in Thüringen durch Windkraft und Biomasse erzeugt.
- Dennoch fällt Thüringen insbesondere im Bereich der Windenergienutzung deutlich hinter Bundesländern mit vergleichbaren Rahmenbedingungen zurück.
- Die solare Nutzung (PV) hat in Thüringen aktuell einen Anteil von weniger als zehn Prozent.
- Wasserkraft spielt in Thüringen aufgrund der naturräumlichen Vorgaben nur eine untergeordnete Rolle.
- Pro Einwohner wird mehr regenerativer Strom erzeugt als im Bundesdurchschnitt.

In Nordthüringen wird pro Einwohner am meisten Windstrom erzeugt, auch beim Sonnenstrom führt Nordthüringen. Bei der Wasserkraft und der Biomassenutzung liegt aktuell Ostthüringen vorn.

Die Nutzung regenerativer Energien in Thüringen lässt sich bereits im Referenzszenario erheblich ausbauen. Für den Wärmebereich gilt:

- 2020 werden 27 Prozent des Wärmebedarfs regenerativ gedeckt.
- 2050 werden 42 Prozent des Wärmebedarfs regenerativ gedeckt.
- Die Biomasse dominiert 2050 mit 69 Prozent am regenerativen Wärme-Mix.
- Die Nutzung von Erdwärmesonden wird 2050 mit 13 Prozent am Wärme-Mix deutlich ausgebaut.
- Die Nutzung von Sonnenkollektoren zur Warmwasserbereitstellung wird 2050 mit elf Prozent am regenerativen Wärme-Mix ebenfalls deutlich ausgebaut werden.

Für den Strombereich gilt im Referenzszenario:

- 2020 werden 45 Prozent des Strombedarfs regenerativ gedeckt.
- 2050 werden 76 Prozent des Strombedarfs regenerativ gedeckt.
- Die Windkraft deckt 2050 50 Prozent des regenerativen Strom-Mixes ab.
- Die photovoltaische Stromerzeugung wird 2050 mit 15 Prozent am Strom-Mix deutlich ausgebaut.
- Die Nutzung der Biomasse zur Stromerzeugung wird 2050 mit 30 Prozent am regenerativen Strom-Mix, relativ gesehen, abnehmen. Ihr Potenzial ist bereits heute fast ausgeschöpft.

Für die zukünftige Produktion von Bio-Treibstoffen gilt:

- Die Anbauflächen bleiben auch in Zukunft aufgrund der Flächenkonkurrenz begrenzt.
- Im Referenzszenario ist eine Verdopplung der Bio-Treibstoffproduktion zu erwarten.

Im ambitionierten Szenario und im Exzellenzszenario können die regenerativen Potenziale weiter ausgeschöpft werden. Dies betrifft insbesondere die Windkraft und den Sonnenstrom.



Regional gesehen gilt, dass die Nutzung der Solarenergie einen Schwerpunkt in den südlichen Regionen Thüringens findet. Die Bioenergie konzentriert sich aufgrund der großen Bedeutung der Biogasnutzung auf die Regionen mit den größten landwirtschaftlichen Nutzflächen. Bei der Nutzung der Windenergie werden zwischen den Planungsregionen deutliche Unterschiede bestehen bleiben.

## 7.2 Aktueller Stand der Nutzung erneuerbarer Energien in Thüringen

### 7.2.1 Rahmenbedingungen

Die naturräumlichen und anthropogenen Ressourcen werden in Thüringen auf unterschiedliche Weise zur Erzeugung regenerativer Energien genutzt. In Abbildung 36 werden die Optionen regenerativer Energieerzeugung den Formen der Nutzung gegenübergestellt.

Die Sonnenenergie wird zur Stromerzeugung (PV) und zur Wärmebereitstellung (Sonnenkollektoren) genutzt. Wasser und Wind werden zur Stromerzeugung verwendet. Erdgekoppelte Wärmepumpen (Erdwärmesonden) erzeugen Raumwärme. Wärmepumpen, die Abwasserwärme zurückgewinnen, erzeugen Warmwasser. Umgebungs- und Abluft kann mittels Wärmepumpen zur Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser genutzt werden. Die Tiefengeothermie kann sowohl zur Bereitstellung von Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärme als auch zur Stromerzeugung eingesetzt werden. Die Biomasse eignet sich für die Stromerzeugung, die Wärmebereitstellung und ist darüber hinaus auch noch als Energieträger (in Form von Bio-Treibstoff) nutzbar.

|             |           | Raumwärme | Warmwasser<br>Prozesswärme | Strom | Treibstoffe | Nutzung |
|-------------|-----------|-----------|----------------------------|-------|-------------|---------|
| Sonne       | PV        |           |                            |       |             | stark   |
|             | Kollektor |           |                            |       |             | mittel  |
| Wind        |           |           |                            |       |             | wenig   |
| Wasser      |           |           |                            |       |             | nie     |
| Wärmepumpen |           |           |                            |       |             |         |
| Geothermie  |           |           |                            |       |             |         |
| Biomasse    |           |           |                            |       |             |         |

Abb. 36 Optionen regenerativer Energieerzeugung und Formen der Nutzung (eigene Darstellung).

## 7.2.2 Erneuerbare Gesamterträge

Auf der Grundlage der recherchierten Daten und der beschriebenen Annahmen lässt sich der aktuelle Stand der Nutzung erneuerbarer Energien ermitteln. In Tabelle 16 und 17 ist der aktuelle Endenergieertrag aller Planungsregionen und des Freistaates Thüringen nach Produktionsoptionen aufgelistet. Tabelle 18 und 19 zeigen die regenerative Energieerzeugung pro Einwohner. Zum Vergleich sind auch die bundesdeutschen Werte angegeben.

Aktuell wird die regenerative Wärmebereitstellung (Abb. 37) durch die Biomasse dominiert (etwa 90 Prozent). Der Beitrag von Sonnenkollektoren liegt um 2 Prozent. Die Wärmebereitstellung durch Erdwärmesonden ist derzeit noch vernachlässigbar gering. Die Abwasserwärme wird noch nicht genutzt. Pro Einwohner wird in Thüringen fast doppelt so viel regenerative Wärme bereitgestellt wie im Bundesdurchschnitt (Tab. 18).

Am meisten Strom wird in Thüringen aktuell durch Windkraft und Biomasse erzeugt (Abb. 38). Die solare Nutzung (PV) hat in Thüringen einen Anteil von weniger als 10 Prozent. Ergänzt wird der erneuerbare Energiemix durch Strom aus Müll- und Deponiegasverbrennung (13 Prozent). Wasserkraft spielt in Thüringen aufgrund der naturräumlichen Vorgaben (Abschnitt 3.2) nur eine untergeordnete Rolle. Pro Einwohner wird mehr regenerativer Strom erzeugt als im Bundesdurchschnitt (Tab. 19), insbesondere bei der Windkraft und der Biomasse. Nicht berücksichtigt sind bislang Wasserkraftwerke, die nicht nach EEG einspeisen.

In Thüringen wurden 2010 757 Gigawattstunden Bio-Treibstoffe produziert. Pro Einwohner entspricht dies 339 Kilowattstunden. Der Bundesdurchschnitt liegt bei 434 Kilowattstunden und somit höher als in Thüringen.

**Tab. 16 Aktuelle regenerative Wärmebereitstellung (Endenergie) in den Planungsregionen, in Thüringen und in Deutschland.**

| Regenerativer<br>Wärmeertrag       | Sonne (Kol-<br>lektoren) | Erdwärme<br>(Sonden) | Abwasser-<br>wärme | Biomasse | Tiefen-<br>geothermie | MVA/<br>Deponiegas | Summe   |
|------------------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------|----------|-----------------------|--------------------|---------|
| GWh <sub>End</sub> /a <sup>1</sup> |                          |                      |                    |          |                       |                    |         |
| Mittelthüringen                    | 21                       | 18                   | 0                  | 1.030    | 0                     | 139                | 1.208   |
| Nordthüringen                      | 17                       | 12                   | 0                  | 936      | 0                     | 4                  | 970     |
| Ostthüringen                       | 35                       | 20                   | 0                  | 2.988    | 0                     | 150                | 3.193   |
| Südwestthüringen                   | 27                       | 8                    | 0                  | 949      | 0                     | 291                | 1.275   |
| Thüringen                          | 100                      | 58                   | 0                  | 5.903    | 0                     | 584                | 6.645   |
| Deutschland <sup>2</sup>           | 5.200                    | 5.300                | nb                 | 112.000  | 285                   | 13.296             | 136.081 |

<sup>1</sup>Gigawattstunde Endenergie pro Jahr, nicht explizit durch Thüringer Ressourcen bereitgestellt; <sup>2</sup>BMU (2011).

**Tab. 17 Aktuelle regenerative Stromproduktion (Endenergie) in den Planungsregionen, in Thüringen und in Deutschland.**

| Regenerativer Stromertrag          | Sonne (PV) | Wind   | Wasser          | Biomasse | Tiefen-geothermie | MVA/Deponiegas | Summe   |
|------------------------------------|------------|--------|-----------------|----------|-------------------|----------------|---------|
| GWh <sub>End</sub> /a <sup>1</sup> |            |        |                 |          |                   |                |         |
| Mittelthüringen                    | 72         | 370    | 9               | 149      | 0                 | 101            | 701     |
| Nordthüringen                      | 57         | 488    | 2               | 255      | 0                 | 4              | 806     |
| Ostthüringen                       | 73         | 234    | 60              | 627      | 0                 | 109            | 1.103   |
| Südwestthüringen                   | 65         | 112    | 23              | 133      | 0                 | 208            | 541     |
| Thüringen                          | 266        | 1.205  | 95 <sup>2</sup> | 1.164    | 0                 | 421            | 3.151   |
| Deutschland <sup>2</sup>           | 11.683     | 37.793 | 20.630          | 26.900   | 28                | 6.432          | 103.466 |

<sup>1</sup>Gigawattstunde Endenergie pro Jahr, nicht explizit durch Thüringer Ressourcen bereitgestellt; <sup>2</sup>ohne Berücksichtigung der Laufwasserkraft aus Pumpspeicherkraftwerken mit einem natürlichen Zulauf. <sup>3</sup>BMU (2011)

**Tab. 18 Aktuelle regenerative Wärmebereitstellung (Endenergie) pro Einwohner in den Planungsregionen, in Thüringen und in Deutschland.**

| Regenerativer Wärmeertrag          | Sonne (Kollektoren) | Erdwärme (Sonden) | Abwasserwärme   | Biomasse | Tiefen-geothermie | MVA/Deponiegas | Summe |
|------------------------------------|---------------------|-------------------|-----------------|----------|-------------------|----------------|-------|
| kWh <sub>End</sub> /a <sup>1</sup> |                     |                   |                 |          |                   |                |       |
| Mittelthüringen                    | 31                  | 27                | 0               | 1.517    | 0                 | 205            | 1.780 |
| Nordthüringen                      | 44                  | 32                | 0               | 2.429    | 0                 | 11             | 2.516 |
| Ostthüringen                       | 50                  | 28                | 0               | 4.254    | 0                 | 214            | 4.546 |
| Südwestthüringen                   | 57                  | 17                | 0               | 2.020    | 0                 | 619            | 2.713 |
| Thüringen                          | 45                  | 26                | 0               | 2.640    | 0                 | 261            | 2.972 |
| Deutschland <sup>2</sup>           | 63                  | 64                | nb <sup>3</sup> | 1361     | 3                 | 162            | 1.654 |

<sup>1</sup>Kilowattstunde Endenergie pro Einwohner und Jahr, nicht explizit durch Thüringer Ressourcen bereitgestellt; <sup>2</sup>BMU (2011), <sup>3</sup>nicht bekannt.

**Tab. 19 Aktuelle regenerative Stromproduktion (Endenergie) pro Einwohner in den Planungsregionen, in Thüringen und in Deutschland.**

| Regenerativer Stromertrag             | Sonne (PV) | Wind  | Wasser          | Biomasse | Tiefen-geothermie | MVA/Deponiegas | Summe |
|---------------------------------------|------------|-------|-----------------|----------|-------------------|----------------|-------|
| kWh <sub>End</sub> /EW*a <sup>1</sup> |            |       |                 |          |                   |                |       |
| Mittelthüringen                       | 106        | 546   | 14              | 220      | 0                 | 149            | 1.034 |
| Nordthüringen                         | 147        | 1.267 | 5               | 660      | 0                 | 11             | 2.091 |
| Ostthüringen                          | 105        | 333   | 86              | 893      | 0                 | 155            | 1.570 |
| Südwestthüringen                      | 138        | 238   | 50              | 283      | 0                 | 442            | 1.150 |
| Thüringen                             | 119        | 539   | 42 <sup>2</sup> | 520      | 0                 | 188            | 1.409 |
| Deutschland <sup>2</sup>              | 142        | 459   | 251             | 327      | 0                 | 78             | 1.257 |

<sup>1</sup>Kilowattstunde Endenergie pro Einwohner und Jahr, nicht explizit durch Thüringer Ressourcen bereitgestellt; <sup>2</sup>ohne Berücksichtigung der Laufwasserkraft aus Pumpspeicherkraftwerken mit einem natürlichen Zulauf. <sup>3</sup>BMU (2011).

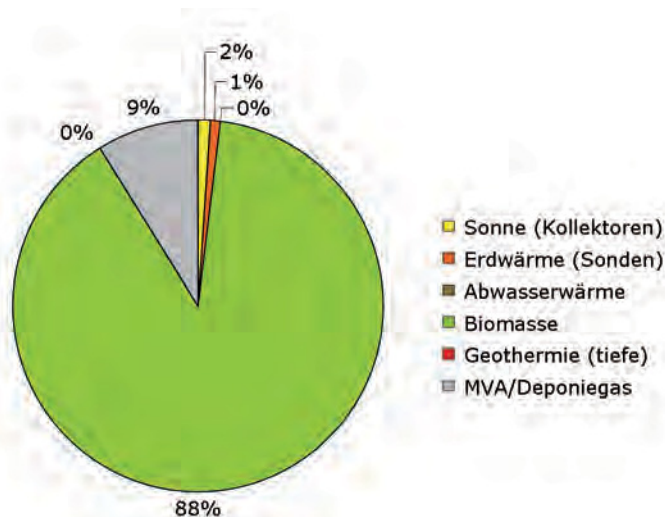


Abb. 37 Relative Verteilung der erneuerbaren Wärmebereitstellung (Endenergie) in Thüringen 2010 (eigene Darstellung).

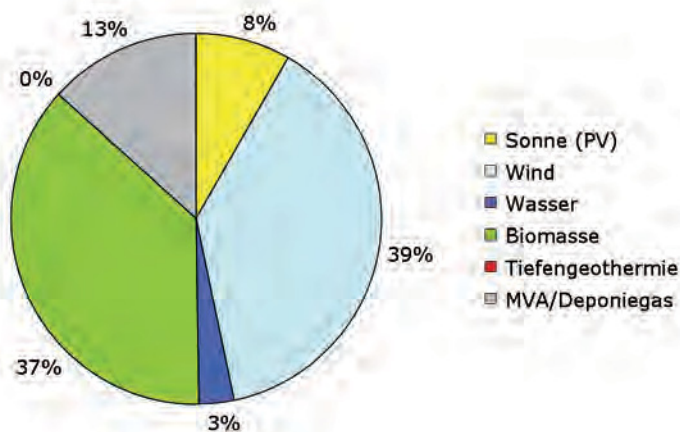


Abb. 38 Relative Verteilung der erneuerbaren Stromerzeugung (Endenergie) in Thüringen 2010 (eigene Darstellung).

### 7.2.3 Vergleich der Nutzung erneuerbarer Energien auf Regionsebene

#### Solarenergie

Sonnenenergie lässt sich in Strom und Wärme transformieren. Die dafür zur Verfügung stehenden solaren Nutzflächen müssen auf beide Optionen verteilt werden.

#### Photovoltaik

Als Datenbasis für die Ermittlung der Strom erzeugenden photovoltaischen Bestandsanlagen wurden die Veröffentlichungen der 50Hertz Transmission GmbH verwendet (Netzbetreiber). Die EEG-Anlagenstammdaten beinhalten unter anderem Informationen zu Standorten der EEG-Anlagen (Ort/Gemarkung, PLZ-Gebiet), der installierten Leistung und dem Inbetriebnahmejahr. In der Jahresabrechnung werden die anlagenscharfen EEG-Strommengen dargestellt. Für die Photovoltaik konnte eine installierte Leistung von insgesamt 297 Megawatt ermittelt werden (Stand: Mai 2011). Die ca. 11.000 Photovoltaikanlagen weisen eine durchschnittliche Anlagenleistung von rund 26 Kilowatt elektrisch auf, wobei mehr als 80 Prozent der Anlagen eine Leistung von unter 25 Kilowatt elektrisch aufweist.

Bei einem angenommenen durchschnittlichen Ertrag von 900 Kilowattstunden pro installiertem Kilowatt elektrisch (siehe Abschnitt 5.4.1) wurden mit der Gesamtanzahl der PV-Anlagen rund 268 Gigawattstunden Solarstrom erzeugt. In Tabelle 20 sind die regionsspezifischen installierten Leistungen und die daraus resultierenden Erträge dargestellt.

Diese Daten spiegeln jedoch nur diejenigen Anlagen wider, die den erzeugten Strom in das Stromnetz einspeisen. Photovoltaikanlagen die nicht einspeisen, sondern den Strom zur Eigenversorgung des Betreibers bereitstellen, sind nicht enthalten.

**Tab. 20** Summe der installierten elektrischen Leistungen und Stromerträge aus Photovoltaikanlagen in den Planungsregionen Thüringens (Stand: Mai 2011).

| Region           | installierte Leistung in kW <sub>el</sub> <sup>1</sup> | Stromertrag in GWh/a |
|------------------|--|----------------------|
| Mittelthüringen  | 79.840   | 72                   |
| Nordthüringen    | 63.150   | 57                   |
| Ostthüringen     | 81.846   | 74                   |
| Südwestthüringen | 72.136   | 65                   |
| <b>Thüringen</b> | <b>296.973</b>   | <b>268</b>           |

<sup>1</sup>50Hertz Transmission GmbH 2011, eigene Berechnung.

Bei der photovoltaischen Stromerzeugung bestehen keine ausgeprägten Unterschiede zwischen den vier Planungsregionen (Abb. 39). Bei der absoluten installierten Leistung fällt Nordthüringen mit rund 63.000 Kilowattpeak etwas hinter den anderen drei Regionen zurück. Auffällig ist, dass sich die Rangliste bezogen auf die Einwohner umkehrt und Nordthüringen mit einem Wert von 160 Watt pro Einwohner die Spitzenposition einnimmt.

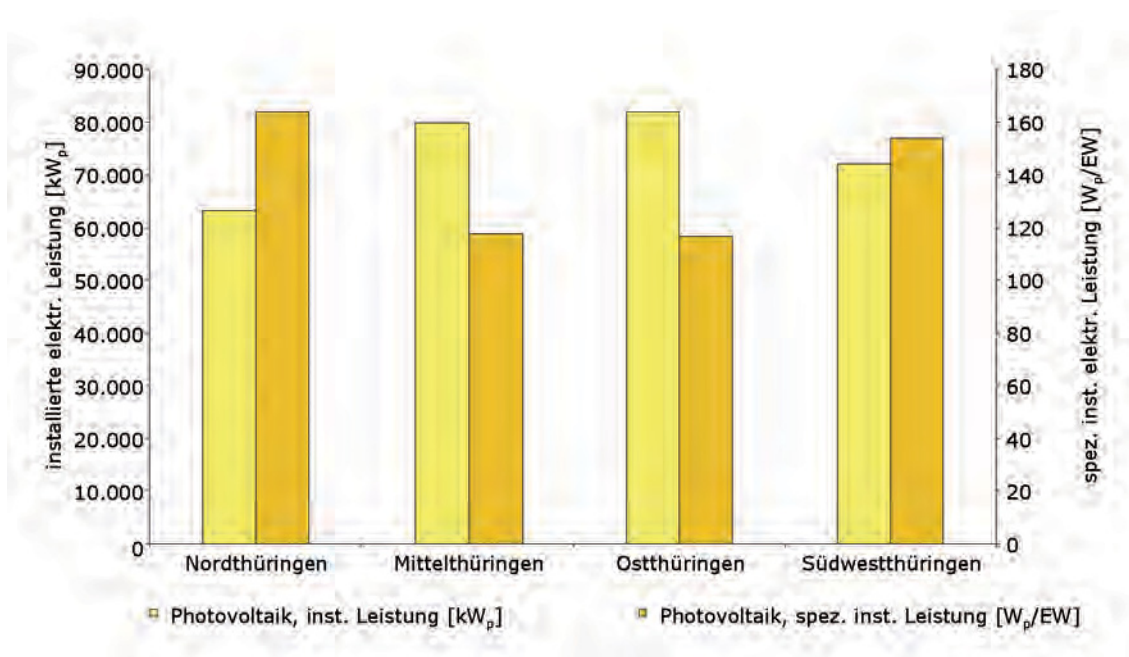


Abb. 39 Installierte PV-Leistung in Kilowattpeak bzw. Wattpeak pro Einwohner in den vier Planungsregionen Thüringens (eigene Darstellung).

## Sonnenkollektoren

Im Freistaat Thüringen wurden seit dem Jahr 1991 rund 290.000 Quadratmeter Solar-Kollektorfläche (etwa 31.000 Anlagen) durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle sowie den Freistaat Thüringen gefördert. Nimmt man vereinfachend an, dass pro Quadratmeter Kollektorfläche etwa 0,7 Kilowatt Leistung installiert sind, entspräche diese Fläche einer Gesamtleistung von 200.444 Kilowatt. Bezogen auf die Landkreise sind der Wartburgkreis (23.600 Quadratmeter) der Landkreis Greiz (22.700 Quadratmeter) und der Saale-Orla-Kreis (22.700 Quadratmeter) Spitzenreiter. Bezogen auf die Planungsregionen ist, wie in Tabelle 21 ersichtlich, Ostthüringen mit einer Gesamtfläche von 99.596 Quadratmetern an erster Stelle, gefolgt von Südwestthüringen (76.360 Quadratmeter), Mittelthüringen (59.528 Quadratmeter) und Nordthüringen (50.865 Quadratmeter). Zur Abschätzung des Energieertrages wurde ein durchschnittlicher Energieertrag von 350 Kilowattstunden pro Quadratmeter Kollektorfläche und Jahr angenommen (siehe Abschnitt 5.4.1).

Durch Multiplikation des durchschnittlichen Energieertrages mit der Kollektorfläche ergibt sich ein Gesamtertrag in Höhe von rund 100 Mio. Kilowattstunden im Jahr 2010 für den Freistaat Thüringen. Die regionsspezifischen Energieerträge sind in Tabelle 21 aufgeführt.

**Tab. 21**      **Installierte Solarkollektorfläche und daraus resultierender Energieertrag in den Planungsregionen Thüringens.**

| Region           | Kollektorfläche <sup>1</sup> in m <sup>2</sup> | Energieertrag in GWh/a |
|------------------|--|------------------------|
| Mittelthüringen  | 59.528   | 21                     |
| Nordthüringen    | 50.865   | 17                     |
| Ostthüringen     | 99.596   | 35                     |
| Südwestthüringen | 76.360   | 27                     |
| <b>Thüringen</b> | <b>286.348</b>                                 | <b>100</b>             |

<sup>1</sup>BAFA 2010 und Thüringer Förderprogramm zwischen 1991 und 2005, eigene Berechnung.

Vergleicht man die in den vier Planungsregionen Thüringens installierte solarthermische Kollektorfläche (Abb. 40), so zeigt sich bei den absoluten Zahlen ein deutlicher Vorsprung der südlichen und östlichen Landesteile.

Nord- und Mittelthüringen weisen etwa ein Drittel geringere Kollektorflächen auf. Worauf diese Unterschiede zurück zu führen sind, lässt sich nicht schlüssig erklären. Möglicherweise trägt neben einer im Saaletal etwas höheren Sonnenscheindauer auch der ostthüringische Verdichtungsraum zu einem höheren Anteil an Solarkollektoren bei. Da solarthermische Anlagen vorwiegend auf Einfamilienhäusern installiert werden, trägt ein größerer Anteil dieser Siedlungsform, verbunden mit einem positiven Image einer Solarkollektoranlage, zu einer stärkeren Verbreitung der Anlagen in diesen Regionen bei.

Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass die Nutzung der Solarenergie einen gewissen Schwerpunkt in den südlichen Regionen Thüringens bildet.

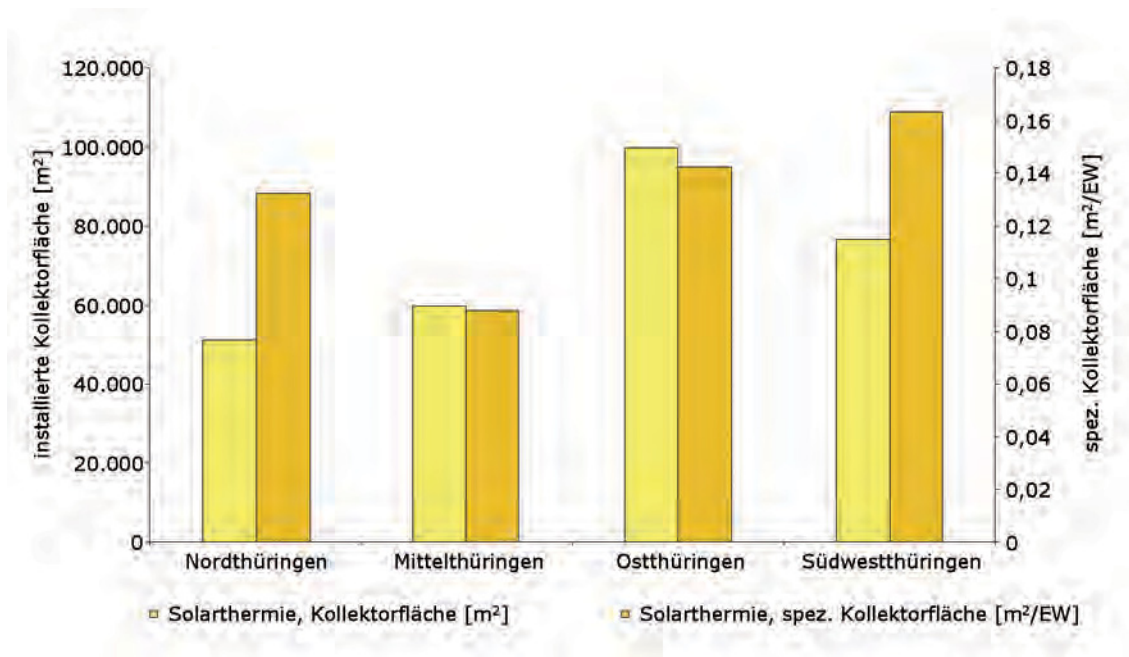


Abb. 40 Installierte solarthermische Kollektorfläche in Quadratmeter bzw. Quadratmeter pro Einwohner in den vier Planungsregionen (eigene Darstellung).

### Windkraft

Die Energieerträge der derzeit in Thüringen installierten Windkraftanlagen wurden durch Abfrage der Einspeisemengen bei dem zuständigen Übertragungsnetzbetreiber 50Hertz ermittelt. Da bei den Ortsangaben in der Datenbank die Einspeisepunkte und nicht die konkreten Standorte der Windenergieanlagen angegeben wurden, konnten diese Erträge nicht exakt einer Gemeinde zugeordnet werden. Das Thüringer Landesverwaltungsamt stellte die koordinatenscharfen Standorte der einzelnen Windkraftanlagen zur Verfügung. Damit konnte jede Windkraftanlage einer entsprechenden Gemeinde zugeordnet werden. Die Informationen des Landesverwaltungsamts enthielten zusätzliche Angaben, wie Leistung und Baualter. Dadurch konnte mit Hilfe der Volllaststundenzahl der anlagenspezifische Stromertrag abgeschätzt werden. Die durchschnittliche Volllaststundenzahl der vergangenen drei Jahre betrug in Thüringen 1.532 Stunden. Es wurde daher zur Berechnung der anlagenspezifischen Erträge im Referenzszenario eine Volllaststundenzahl von 1.600 Stunden angenommen.

Durch die Ausweisung von Vorranggebieten zur Windkraftnutzung ist es in der Regel nur auf diesen Flächen möglich, raumbedeutsame Windkraftanlagen zu errichten. Nur in Ausnahmefällen werden nicht raumbedeutsame Anlagen außerhalb der Vorranggebiete genehmigt. Eine Betrachtung dieser Möglichkeit wurde nicht durchgeführt. Die Abschätzung des Repoweringpotenzials beschränkt sich daher auf die Vorranggebiete.

Aufgrund der natur- und kulturräumlichen Voraussetzungen sind in den Planungsregionen unterschiedlich große Vorrangflächen zur Windenergienutzung ausgewiesen. Die Ermittlung der Flächengrößen der jeweiligen Vorranggebiete erfolgte mit Hilfe der GIS-basierten Daten. Diese Datensätze wurden vom Thüringer Landesverwaltungsamt zur Verfügung gestellt und stellen den aktuellen Datenbestand dar. Die ermittelten Flächen für die Planungsregionen sind in Tabelle 22 aufgelistet.



**Tab. 22 Im GIS ermittelte Vorrangflächen in Thüringen<sup>1</sup>.**

|                  | Fläche der Vorranggebiete<br>in ha |
|------------------|------------------------------------|
| Mittelthüringen  | 1.594                              |
| Nordthüringen    | 2.048                              |
| Ostthüringen     | 842                                |
| Südwestthüringen | 474                                |
| <b>Gesamt</b>    | <b>4.958</b>                       |

<sup>1</sup>nach TLVwA (2011)

Thüringen verfügt derzeit über eine Gesamtvorrangfläche zur Windenergienutzung von 4.958 Hektar (inklusive der Vorranggebiete der Regionalpläne, die zum Zeitpunkt der Studie noch nicht genehmigt waren). Auf dieser Fläche sind aktuell 581 Windkraftanlagen mit einer Gesamtleistung von rund 753 Megawatt installiert (Stand: 31.12.2010). Die durchschnittliche Anlagenleistung beträgt ca. 1,3 Megawatt.

Aus der Zuordnung der derzeit installierten Windkraftanlagen ergeben sich die in Tabelle 23 zusammengefassten Erträge für die Planungsregionen. Es sind Anlagen enthalten, die nicht unmittelbar in den Vorranggebieten gelegen sind.

**Tab. 23 In Thüringen installierte Windkraftanlagen und Energieertrag bei 1.600 Volllaststunden<sup>1</sup>.**

|                  | Anlagenanzahl | installierte Leistung<br>in kW | Energieertrag bei<br>1.600 h Volllaststunden-<br>denzahl<br>in GWh/a |
|------------------|---------------|--------------------------------|--|
| Mittelthüringen  | 168           | 231.550                        | 370  |
| Nordthüringen    | 212           | 305.175                        | 488  |
| Ostthüringen     | 135           | 146.109                        | 234  |
| Südwestthüringen | 66            | 70.020                         | 112  |
| <b>Summe</b>     | <b>581</b>    | <b>752.854</b>                 | <b>1.204</b>   |

<sup>1</sup>nach TLVwA (2011)

Bei der derzeitigen Nutzung der Windkraft zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den vier Planungsregionen (Abb. 41), die sich sowohl bei den absoluten Zahlen als auch bei den flächenspezifischen Werten ausdrücken. Den größten Beitrag zur Endenergienutzung liefert zurzeit Nordthüringen, den geringsten Anteil Südwestthüringen, wobei hier der flächenbezogene Wert lediglich ein Viertel des Wertes in Nordthüringen ausmacht. Wie die Untersuchungen im Rahmen dieser Studie gezeigt haben, sind diese Unterschiede nicht auf ein grundsätzlich unterschiedliches Windenergiepotenzial zurückzuführen. Ursache dürfte neben bestehenden Restriktionen bei der Windenergienutzung (Naturschutzgebiete, Wälder etc.) auch die sehr unterschiedliche Ausweisung von entsprechend geeigneten Windvorrangflächen sein.



Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass bei der Nutzung der Windenergie zwischen den Planungsregionen deutliche Unterschiede bestehen, die einerseits auf naturräumlichen Unterschieden beruhen, andererseits aber auch auf eine unterschiedliche planerische Bewertung der Windenergie in den jeweiligen Regionen schließen lassen.

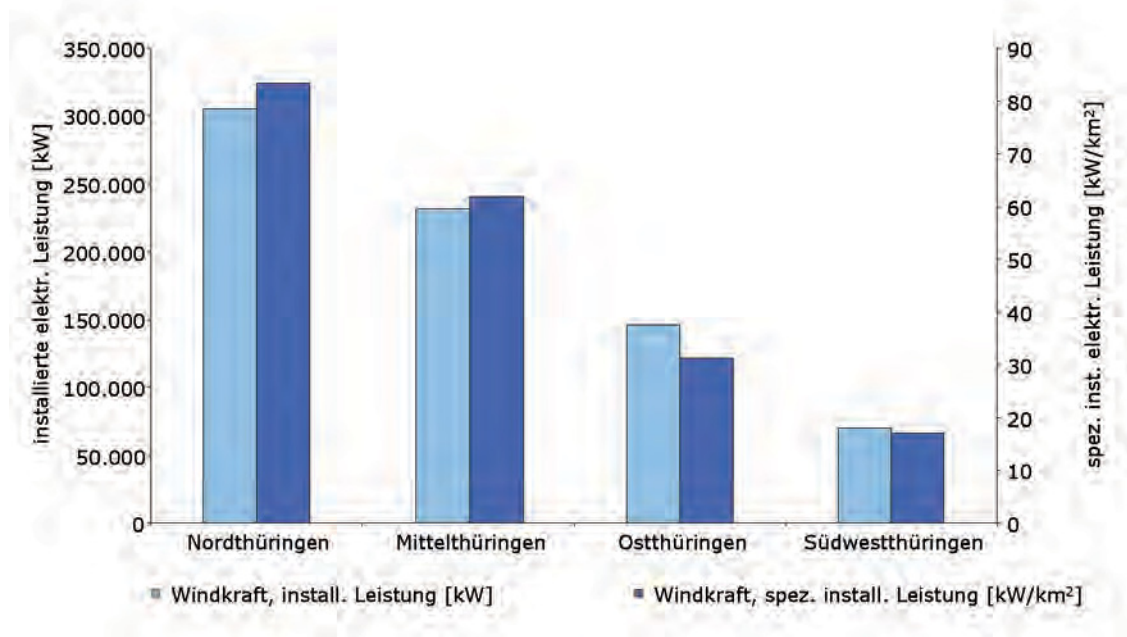


Abb. 41 Installierte Windenergieleistung in Kilowatt bzw. Kilowatt pro Quadratkilometer in den vier Planungsregionen Thüringens (eigene Darstellung).

### Wasserkraft

Zur Ermittlung der aktuellen Erträge aus Wasserkraftanlagen wurden die Einspeisedaten bzw. die Anlagenstammdaten der 50Hertz-Datenbank ausgewertet. Bei Anlagen, für die noch keine jährlichen Einspeisedaten vorlagen wurde der Ertrag mit Hilfe der durchschnittlichen Ertragsleistung hochgerechnet. Es wurde nur die Laufwasserkraft berücksichtigt, da der Anteil aus den natürlichen Zuflüssen nicht mengenmäßig zugeordnet werden konnte.

In Thüringen sind aktuell ca. 180 Laufwasserkraftwerke mit einer Gesamtleistung von rund 32 Megawatt installiert. Diese Anlagen speisten im Jahr 2009 ca. 95 Mio. Kilowattstunden Strom ein. Lediglich sechs Anlagen weisen eine Leistung von mehr als einem Megawatt auf. Davon liegen fünf Anlagen in Ostthüringen und eine Anlage in Südwestthüringen. Die hauptsächliche Nutzung der Laufwasserkraft erfolgt in Ost- und Südwestthüringen.

### Umgebungswärme

Die Ermittlungen zum aktuellen Stand der Nutzung von oberflächennaher Geothermie (Erdwärmesonden) waren schwierig, da es diesbezüglich keine zentrale Datenbank gibt. Das Thüringer Landesverwaltungsamt hat im Herbst 2010 mit der Sammlung der Bestandsdaten begonnen und die aktuellen Informationen zur Verfügung gestellt. Diese Datensammlung enthielt jedoch nur die Anlagen, die den Unteren Wasserbehörden der Landkreise angezeigt wurden. Da die Daten in sehr unterschiedlicher Qualität und Vollständigkeit bereitgestellt wurden, musste in einigen Fällen der Bestand anhand von Durchschnittswerten (durchschnittliche Anlagenleistung und Anlagenanzahl) abgeschätzt werden.

Die Ergebnisse der Auswertung der Datenbank des Thüringer Landesverwaltungsamtes zum aktuellen Stand der Nutzung oberflächennaher Erdwärme sind in Tabelle 24 dargestellt. Demnach sind in Mittel- und Ostthüringen die meisten Erdwärmesonden installiert, gefolgt von Nord- und Südwestthüringen.

**Tab. 24 Bestand an oberflächennahen Geothermieranlagen in den Planungsregionen Thüringens<sup>1</sup>.**

| Region           | installierte Leistung in kW <sup>1</sup> | Energieertrag in GWh/a (bei 1.800 Volllaststunden) <sup>2</sup> |
|------------------|--|---|
| Mittelthüringen  | 10.224                                   | 18,4  |
| Nordthüringen    | 6.758                                    | 12,2  |
| Ostthüringen     | 10.950                                   | 19,7  |
| Südwestthüringen | 4.316                                    | 7,8   |
| <b>Thüringen</b> | <b>32.248</b>                            | <b>58,1</b>   |

<sup>1</sup>TLVwA 2011, eigene Berechnung; <sup>2</sup>VDI Richtlinie 4640 Blatt 2, Tabelle 2.

### **Abwasserwärme**

Derzeit ist keine Anlage zur Nutzung der Abwasserwärme in Thüringen in Betrieb bzw. bekannt.

### **Tiefengeothermie**

Die Nutzung der tiefengeothermischen Potenziale erfolgt momentan an drei Standorten in Thüringen. In Bad Colberg befindet sich eine Thermalsondenbohrung mit einer Endteufe von 1.400 Meter. Die installierte Leistung beträgt hier 30 Kilowatt. Damit werden jährlich ca. 300.000 Kilowattstunden Wärmeenergie gewonnen. Eine zweite Anlage befindet sich in Bad Sulza. Hier beträgt die Endteufe ca. 600 Meter. Die installierte Leistung beträgt ca. 10 Kilowatt und erzielt Wärmeerträge von rund 20.000 Kilowattstunden pro Jahr. Die dritte Bohrung befindet sich mit einer Endteufe von 741 Metern in Bad Langensalza. Hier können derzeit keine Aussagen zur installierten Leistung bzw. zu den Energieerträgen gemacht werden (GeotIS 2011).

### **Bioenergie**

Die Biomasse spielt heute bereits eine wichtige Rolle im Freistaat Thüringen. Der aktuelle Nutzungsstand wird nachstehend dargestellt. Weitere Erläuterungen zur Bioenergie sind in den Anhängen A1 und A3 zu finden.

In Thüringen wird Holz in rund 100 größeren kommunalen oder industriellen Holzheizwerken mit einer Leistung von mehr als 100 Kilowatt eingesetzt. Hier beläuft sich der Brennstoffbedarf auf rund 50.000 Atro-Tonnen pro Jahr oder 97.000 Erntefestmeter pro Jahr. Damit wird das verfügbare Waldholz-Energiepotenzial durch diese Nutzergruppen bereits zu rund 84 Prozent ausgenutzt. Auch hier gibt es zurzeit keine verlässlichen statistischen Angaben, die eine genauere Bewertung des Holzeinsatzes erlauben.

Ein weiterer Einsatz von Waldrestholz erfolgt in größeren Heizkraftwerken zur Strom- und Wärmeerzeugung bzw. zur ausschließlichen Stromerzeugung. Bedeutend ist dabei das Biomassekraftwerk in Bischofferode, das pro Jahr rund 230.000 Atro-Tonnen Holz verbraucht (Schramm 2010). Allerdings bezieht das Kraftwerk Bischofferode sein Holz zum Teil aus einem sehr großen Einzugsgebiet von bis zu 100 Kilometern um den Standort, wobei für den Ort der Beschaffung der jeweils günstigste Holzpreis maßgebend ist.

In Anbetracht der Tatsache, dass in Thüringen aber weitere 11 Biomasseheizkraftwerke mit einer thermischen Leistung von 510 Megawatt und einer elektrischen Leistung von 104 Megawatt bestehen, wird deutlich, dass die Energieholzpotenziale aus dem Forstbereich heute bereits vollständig ausgeschöpft werden.

Eine Besonderheit nimmt dabei das Zellstoffwerk in Blankenstein ein. Hier werden pro Jahr rund 330.000 Tonnen Zellstoff erzeugt, in etwa die gleiche Menge an Reststoffen fällt in Form von Schwarzlauge an, die am Standort zur Gewinnung von Prozessdampf und Strom verwendet wird, wobei nur der Strom das Betriebsgelände verlässt. Auch hier gilt, dass weniger als 50 Prozent der derzeit genutzten rund 500.000 Festmeter Holz aus Thüringen stammen. Diese Situation wird sich weiter verändern, wenn – wie vorgesehen – die Kapazitäten des Standorts verdoppelt werden. Aufgrund der im Vergleich zu den anderen Biomasseheizkraftwerken außergewöhnlich hohen thermischen Leistung dieser Anlage wird dieses Biomasseheizkraftwerk gesondert aufgeführt und im Weiteren mit Ausnahme des eingespeisten Stroms aus der Betrachtung ausgeklammert.

Auch das Altholz wird zum überwiegenden Teil bereits energetisch genutzt (ca. 90 Prozent).

Eine Besonderheit stellt die Erfassung der privaten Holz-Kleinf Feuerungen dar, da diese Kleinanlagen in amtlichen Statistiken nicht aufgeführt werden. Andererseits lässt sich – auch abgeleitet aus bundesweiten Untersuchungen zum Heizungsbestand – vermuten, dass derartige Kleinf Feuerungen in Form von Kamin- und Kachelöfen oder Zentralheizungskesseln einen nicht unerheblichen Verbreitungsgrad im ländlichen Raum haben und dadurch einen beachtlichen Beitrag zur Nutzung von Bioenergie leisten. So schätzt die thüringische Forstverwaltung den Einsatz von Brennholz in privaten Kleinf Feuerungen auf 150.000 Atro-Tonnen pro Jahr, was ca. 225.000 Erntefestmeter entspricht.

Auch in Thüringen erfolgt keine statistische Erfassung aller vorhandenen Anlagen. Diese Erfassung wird im Bereich der Kleinf Feuerungen dadurch erschwert, dass nur zentrale Anlagen oberhalb 15 Kilowatt thermischer Nennleistung der wiederholten Messpflicht unterliegen. Diese Anlagen werden beim Landesinnungsverband der Schornsteinfeger (LIV) zentral erfasst. Kleinere Zentralfeuerungsanlagen unterliegen nur einmalig bei Inbetriebnahme der Messpflicht. Einzelfeuerstätten sind nicht messpflichtig.

Um zumindest einen Einblick in die Nutzung von Holzbrennstoffen in Kleinf Feuerungsanlagen zu erhalten, wurde im Rahmen dieser Studie eine Abschätzung des Energieholzeinsatzes im privaten Bereich über die Anzahl der Rauchschorne steine vorgenommen, da diese Anzahl Aufschluss über die Einzelfeuerstätten für Festbrennstoffe gibt.

Da in Thüringen auch keine Angaben zu der Anzahl der Rauchschorne steine verfügbar sind, wurde auf ähnliche Untersuchungen in Niedersachsen (Neff 2005) und Hessen (IGW 2005) zurückgegriffen. In beiden Bundesländern stehen zehn Rauchschorne steine pro 100 Einwohner zur Verfügung. Diese spezifische Zahl wurde auf den Freistaat Thüringen übertragen. Damit ergibt sich in Thüringen eine Anzahl von ca. 227.000 Rauchschorne steinen (Abb. 42).

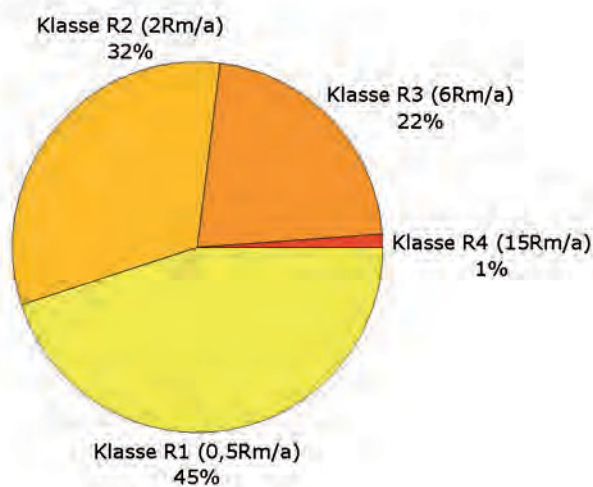


Abb. 42 Verteilung der Rauchschnsteine in Thüringen, Gesamtzahl: 226.780 (eigene Darstellung).

Da diese Einzelfeuerstätten nicht alle im gleichen Umfang betrieben werden, sondern überwiegend nur zeitweise, ist zur Abschätzung des Brennstoffbedarfs eine weitere Unterteilung erforderlich. Auch hier folgt die Vorgehensweise der Studie in Hessen (IGW 2005), in der die gesamte Anzahl an Einzelfeuerstätten anhand der Kehrintervalle in vier Klassen R1 bis R4 unterteilt wurde.

In der Klasse R1 (Reinigungsintervall einmal jährlich) werden Feuerstätten zusammengefasst, die lediglich dem Wohnambiente dienen und sehr selten in Betrieb sind, z. B. offene Kamine. Hier kann von einem Brennstoffverbrauch von durchschnittlich 0,5 Raummeter pro Jahr ausgegangen werden. Mit 45 Prozent stellt diese Klasse den Hauptanteil der Feuerstätten dar.

Die Klasse R2 umfasst Feuerungen, die in der Übergangszeit oder im Winter neben einer Zentralheizung als zusätzliche Heizung in Wohnräumen dienen, zum Beispiel Kachelöfen. Hier wurde ein Brennstoffverbrauch von zwei Raummeter pro Jahr angesetzt. Knapp ein Drittel aller Feuerstätten können dieser Klasse zugerechnet werden.

Einzelöfen und kleinere Zentralheizungen, die den gesamten Wärmebedarf eines Haushalts decken, sind in der Klasse R3 mit einem Brennstoffverbrauch von durchschnittlich sechs Raummeter pro Jahr erfasst. Sie stellen 22 Prozent der Festbrennstofföfen.

Für die Klasse R4 kann von einem Brennstoffverbrauch von ca. 15 Raummeter pro Jahr ausgegangen werden. Bei diesen Feuerstätten handelt es sich hauptsächlich um Zentralheizungssysteme. Ca. 1 Prozent der Feuerstätten fällt in diese Kategorie. Als Zentralheizung gilt in diesem Fall ein Heizungssystem, das über einen Wasserkreislauf alle Räume regelbar mit der gewünschten Wärme versorgt und üblicherweise über einen ausreichend großen Wärmepufferspeicher verfügt. Der Brennstoff kann Scheitholz sein, zunehmend werden in diesem Bereich auch Pellets eingesetzt.

Fasst man diese Zahlen zusammen, so ergibt sich ein Brennholzbedarf von rund 112.000 Atro-Tonnen pro Jahr oder ca. 218.000 Erntefest-meter pro Jahr. Trotz der bei dieser groben Abschätzung bestehenden großen Unsicherheiten liegt der Brennholzbedarf in einer ähnlichen Größenordnung, wie er von der Thüringer Forstverwaltung genannt wird. Damit stellt Brennholz eine wichtige Energiequelle im privaten Bereich dar.

Die hier angestellte Abschätzung zeigt die derzeitige unbefriedigende statistische Erfassung des wichtigen Bereichs der Biomassekleinfeuerungen. Um diese Situation zu verbessern, führt die TLL derzeit in Zusammenarbeit mit dem Schornsteinfegerhandwerk eine genauere Erfassung des Kleinfeuerungsanlagenbestands in Thüringen durch. Ergebnisse werden aber nicht vor dem Jahr 2012 erwartet (Vetter 2011).

Um die Zahl der Zentralheizungssysteme besser erfassen zu können, wurden im Rahmen dieser Studie die Förderdaten des Bundesamtes für Wirtschaft (BAFA) angefordert. Diese geben Aussagen über die neu installierten Anlagen, die im Zeitraum 2000 bis 2010 im Rahmen des Marktanreizprogramms gefördert wurden. Auch über diese Quelle werden naturgemäß nicht alle Anlagen erfasst, zumal das Marktanreizprogramm im Laufe der Zeit immer wieder verändert wurde und z. B. Scheitholzkessel zeitweise nicht gefördert wurden.

Dennoch zeigt die Auswertung einige Besonderheiten auf. So wurden im Zeitraum von Januar 2000 bis Dezember 2010 in Thüringen 5.063 neue Anlagen gefördert, wobei der überwiegende Teil (3.577 Anlagen) auf Scheitholzkessel entfiel. Darüber hinaus wurden 1.423 Pelletheizkessel gefördert. In diesen Pelletheizanlagen werden pro Jahr ca. 9.000 Tonnen Holzpellets verbrannt, die aus anderen Bundesländern nach Thüringen geliefert werden, da derzeit in Thüringen keine Holzpellets hergestellt werden. Die übrigen im Marktanreizprogramm geförderten Kessel sind Hackschnitzelanlagen. Berücksichtigt man, dass die Ablehnungsquote im Förderprogramm mindestens 15 Prozent beträgt und einige Anlagen ganz ohne Förderung errichtet wurden, so wurden im Zeitraum 2000 bis 2010 ca. 6.000 neue Biomassekessel im Leistungsbereich bis 100 Kilowatt in Thüringen installiert.

## **Biogas**

In Thüringen bestehen 176 Biogasanlagen mit einer Gesamtleistung von 83,3 Megawatt elektrisch bzw. 70 Megawatt thermisch. Biogas entsteht durch die Vergärung von Gülle aus den großen Milchviehbeständen (im Raum Greiz bzw. im Wartburgkreis) und durch die Vergärung nachwachsender Rohstoffe (im Thüringer Becken rund um Kölleda).

Der gesamte Wirtschaftsdünger (Rinder- und Schweinegülle, Stallmist, Hühnertrockenkot) wird heute zu 23 Prozent genutzt. Die einzelnen Bestandteile werden jedoch unterschiedlich intensiv genutzt: ein Drittel der Gülle, jedoch nur 5 Prozent des Stallmistes werden energetisch verwertet.

Auf ca. 28.000 Hektar werden energetisch verwertbare Energiepflanzen angebaut. Davon werden ca. 3.000 Hektar Grünland in Form von Anwelksilage (AWS) genutzt, zusätzlich werden Anbau und Verwertung von Silphie und verschiedenen Hirsearten untersucht. Auf den verbleibenden 25.000 Hektar werden insbesondere Mais, Ganzpflanzen (Ganzpflanzensilage-GPS) und Getreide angebaut. Wobei aufgrund der niedrigen Preise Getreide im Anbaujahr 2009 auf rund der Hälfte der Ackerfläche angebaut wurde. Mit den zukünftig steigenden Getreidepreisen wird sich der Anteil der Ganzpflanzen mit einem etwa doppelt so großen Energieertrag pro Flächeneinheit vergrößern.

## **Biotreibstoffe**

In den letzten fünf Jahren wurde Raps zur Gewinnung von Biodiesel und Rapsöl auf etwa 110.000 bis 120.000 Hektar angebaut. Die Kapazität zur Rapssaatverarbeitung für die Biokraftstoffherstellung lag 2009 bei 275.000 Tonnen (etwa 80.000 Hektar). Aufgrund des stark gesunkenen Absatzes von Rapsöl und Rapsölmethylester bei ortsansässigen Fuhrunternehmen und im öffentlichen Nahverkehr nach der Besteuerung des Biodiesels und Rapsöls wurde diese Kapazität durch Stilllegen einiger Großanlagen (Ebeleben, zum Teil Greußen) auf 67.000 Tonnen Saat verkleinert. Die Rapsanbaufläche hingegen ist nicht zurückgegangen, womit deutlich wird, dass ein erheblicher Teil des in Thüringen angebauten Rapses in den umliegenden Bundesländern aufbereitet wird.

Seit 2005 wurden in Deutschland zusätzliche Produktionskapazitäten zur Herstellung von Bioethanol, das der Substitution von Ottokraftstoffen dient, geschaffen. Rohstoff hierfür war fast ausschließlich Getreide. Die deutschlandweit größte Anlage in unmittelbarer Nähe zu Thüringen in Zeitz kann bei maximaler Auslastung Getreide von ca. 100.000 Hektar verarbeiten.

Die Möglichkeit Biomasse zu verstromen und die Abwärme thermisch zu nutzen besteht mit Blockheizkraftwerken (BHKW). Der derzeitige Anlagenbestand der BHKWs auf Pflanzenölbasis wird auf maximal 23 Anlagen mit einer installierten Leistung von 9 Megawatt elektrisch (Anlagengröße zwischen 4 Kilowatt und 5,8 Megawatt elektrisch) geschätzt.

## Bioenergieerträge

Die Tabelle 25 fasst die derzeitigen Erzeugungskapazitäten in Thüringen zusammen, die in Abbildung 43 graphisch dargestellt werden.

| Tab. 25 Biomasseanlagenbestand in Thüringen.   |         |                  |                  |                               |                 |  |
|--|---------|------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|--|
| Anlagengröße   | Anzahl  | MW <sub>th</sub> | MW <sub>el</sub> | Wärme-<br>erzeugung,<br>GWh/a | Strom,<br>GWh/a | Endener-<br>gieer-<br>zeugung<br>GWh/a |
| Heizkraftwerke,<br>ohne Zellstoffwerk<br>Blankenstein <sup>1</sup>                         | 11      | 280              | 96               | 2045                          | 584             | 2.629                                  |
| Heizkraftwerk<br>Zellstoffwerk<br>Blankenstein <sup>1</sup>                                | 1       | 220              | 28               | 1.860                         | 182             | 2.042                                  |
| Heizwerke > 1MW <sub>th</sub><br>auf Basis Holz  | 20      | 140              | -                | 700                           | 0               | 700                                    |
| Heizwerke > 1MW <sub>th</sub><br>auf Basis Stroh   | 1       | 1,7              | -                | 6,5                           | 0               | 6,5                                    |
| Heizwerke 0,1 bis<br>1MW <sub>th</sub>   | ~100    | 40               | -                | 160                           | 0               | 160                                    |
| Kleinf Feuerungen  | 223.000 | 1.350            | -                | 1.660                         | 0               | 1.660                                  |
| Pelletfeuerungen   | 1.800   | 36               | -                | 60                            | 0               | 60                                     |
| Biogasanlagen  | 176     | 70               | 83               | 545                           | 305             | 850                                    |
| Rapsöl-BHKW  | 23      | 22               | 65               | 75                            | 90              | 165                                    |
| <b>Summe</b>   |         | <b>2.159,7</b>   | <b>272</b>       | <b>7.111,5</b>                | <b>1.161</b>    | <b>8.272,5</b>                         |
| <sup>1</sup> Energieerzeugung aus gesamten Holzeinsatz inkl. „Holzimporte“ nach Thüringen. |         |                  |                  |                               |                 |  |



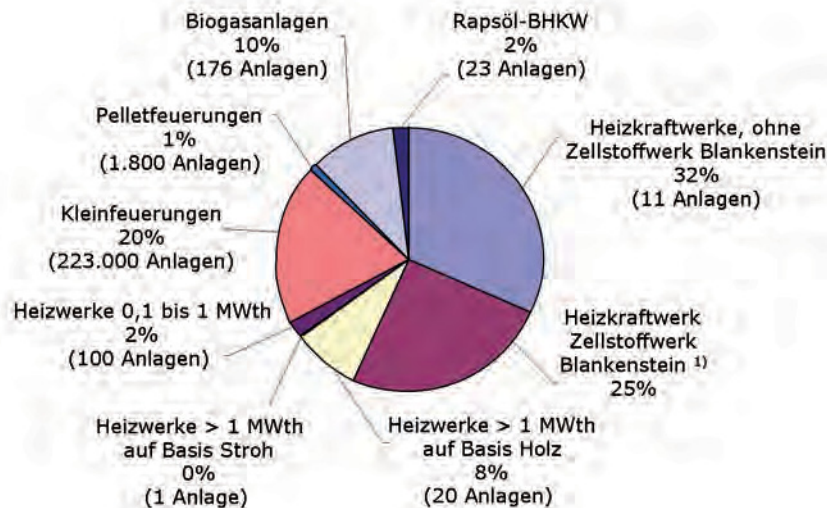


Abb. 43 Stand der Bioenergienutzung in Thüringen, Endenergieerzeugung 8.272,5 Gigawattstunden, Zahlen in Klammern: Anlagenbestand (TLL 2010, eigene Erhebungen und Berechnungen).

Im regionalen Vergleich der installierten elektrischen Leistung aus Biomasse sticht die Planungsregion Ostthüringen besonders hervor (Abb. 44). Dies ist auf das Zellstoffwerk Blankenstein zurückzuführen, das allein mehr als ein Viertel der in der Region installierten „grünen“ elektrischen Leistung aufweist. Aufgrund eines relativ hohen Anteils an landwirtschaftlichen Biogasanlagen liegen die Regionen Nord- und Mittelthüringen sowohl in den absoluten Leistungswerten als auch bei den auf die Regionsfläche bezogenen spezifischen Werten eng beieinander. Da der südwestliche Teil Thüringens eine insgesamt geringere Zahl und Größe landwirtschaftlicher Betriebe im Allgemeinen und an Viehzucht im Besonderen aufweist, ist der Beitrag des Biogases in dieser Planungsregion geringer. Hier stützt sich die Bioenergienutzung weitgehend auf die Holzenergienutzung.

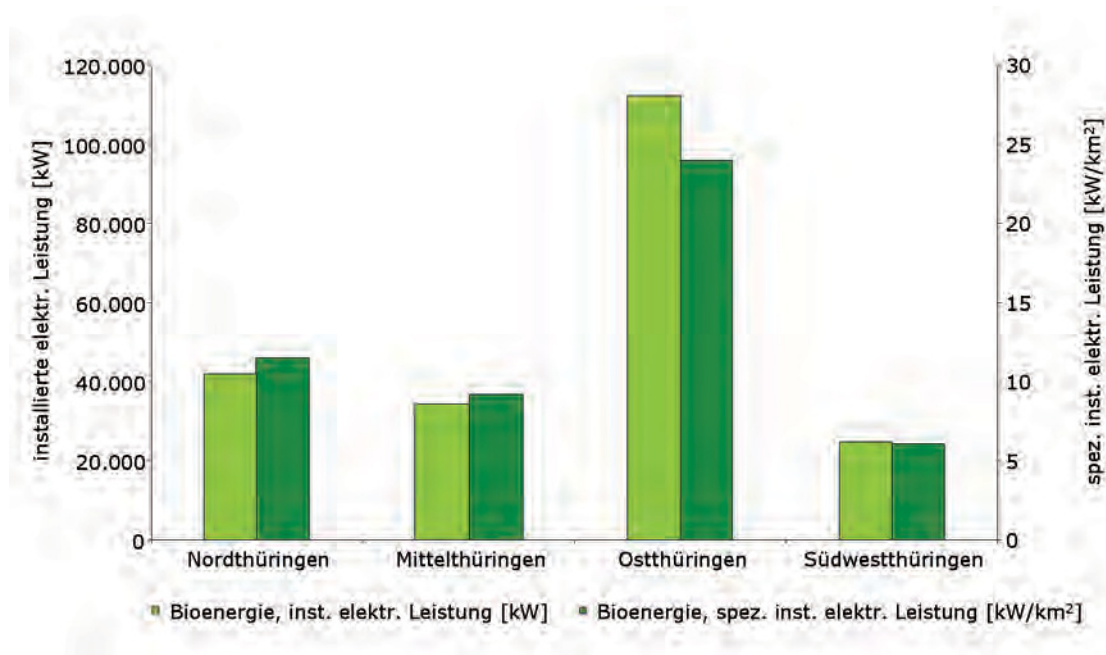


Abb. 44 Installierte elektrische Leistung aus Biomasse in Kilowatt bzw. Kilowatt pro Quadratkilometer in den Planungsregionen (eigene Darstellung).



#### 7.2.4 Nutzung erneuerbarer Energien in Thüringen im Bundesländervergleich

In den vergangenen Jahren hat sich die Nutzung erneuerbarer Energiequellen in der Bundesrepublik Deutschland deutlich erhöht. Allerdings erfolgte diese Entwicklung nicht gleichmäßig in allen Bundesländern bzw. in allen Regionen. Um den derzeitigen Stand der Nutzung in Thüringen bzw. den einzelnen Regionen des Freistaats bewerten zu können, wird eine Positionsbestimmung anhand ausgewählter Technologielinien vorgenommen.

Dabei erfolgt dieser Vergleich zum einen zwischen den einzelnen Bundesländern und zum anderen auf der Ebene der einzelnen Regionen Thüringens. Als Nutzungsoptionen werden gewählt:

- Photovoltaik
- Windenergie
- Bioenergie

Vorausgeschickt werden muss, dass der Vergleich einzelner Bundesländer untereinander, genauso wie der Vergleich einzelner Regionen eines Bundeslands, problematisch ist. So unterscheiden sich die einzelnen Bundesländer und Regionen nicht nur in Hinblick auf ihre Größe, sondern auch auf ihre Einwohnerzahl und ihre wirtschaftliche Leistungskraft. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, werden nachstehend neben absoluten Zahlen auch spezifische Kennwerte dargestellt. Doch auch diese spezifische Darstellung kann die zweifellos bestehenden – zum Teil deutlichen – Unterschiede zwischen den einzelnen Bundesländern bzw. den Regionen Thüringens nicht abbilden. Daher kann der ange stellte Vergleich nur als grobe Orientierung dienen.

Der Bundesländervergleich beschränkt sich auf den Strombereich, da nur hierfür eine verlässliche Datengrundlage besteht.

Abbildung 45 zeigt den prozentualen Anteil der einzelnen Bundesländer an der EEG-Stromerzeugung im Jahr 2009 (BDEW 2010:13). Dabei nimmt Thüringen mit einem Anteil von lediglich 1 Prozent an der gesamten regenerativen Stromerzeugung von 75.053 Gigawattstunden nur einen hinteren Rang im Ländervergleich ein. Auch eine spezifische Betrachtung, welche die unterschiedliche Landesfläche der einzelnen Bundesländer einbezieht, ergibt kein günstigeres Bild (Abb. 46).

Positiv hervorzuheben ist aber, dass sich das Ausbautempo der erneuerbaren Energien in Thüringen in den vergangenen Jahren deutlich erhöht hat und mit 16 Prozent im Zeitraum 2004 bis 2008 weit über dem Bundesdurchschnitt liegt (Abb. 47).

Der Gesamtüberblick zeigt, dass zwischen den einzelnen Bundesländern deutliche Unterschiede im Ausbaugrad der regenerativen Energien bestehen. Worauf lassen sich mit Bezug zum Freistaat Thüringen die Unterschiede zurückführen? Hierzu sollen nachfolgend beispielhaft drei Technologielinien näher betrachtet werden.

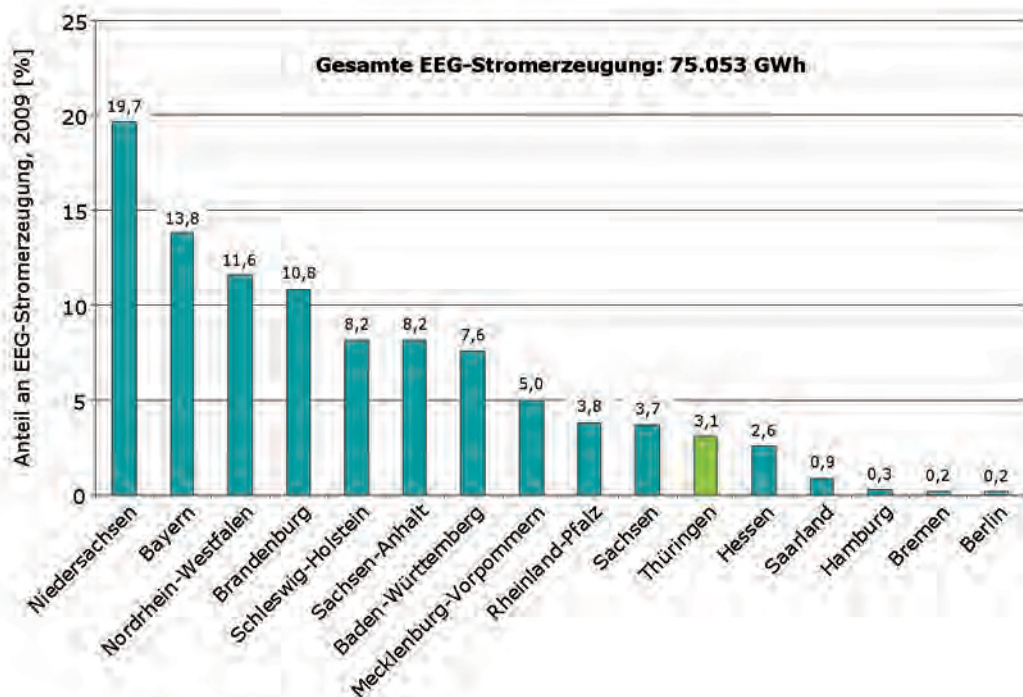


Abb. 45 Prozentualer Anteil der einzelnen Bundesländer an der EEG-Stromerzeugung im Jahr 2009 (BDEW 2010:13).

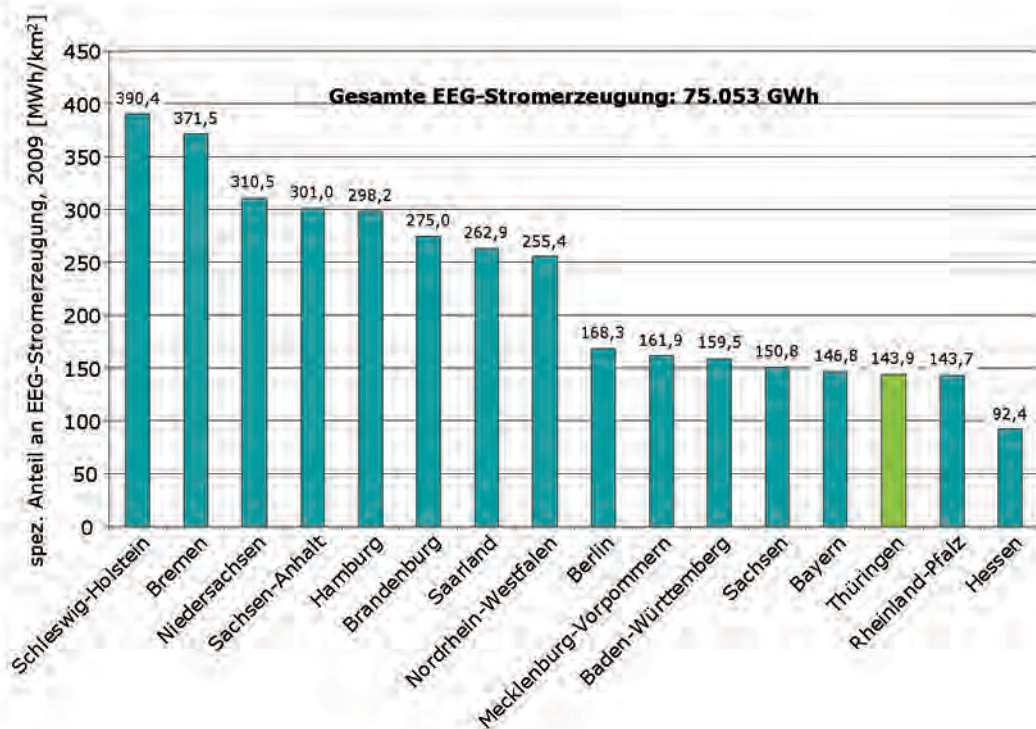


Abb. 46 Flächenspezifischer Anteil der Bundesländer an der EEG- Stromerzeugung im Jahr 2009 (Bundesnetzagentur 2011, eigene Berechnungen).

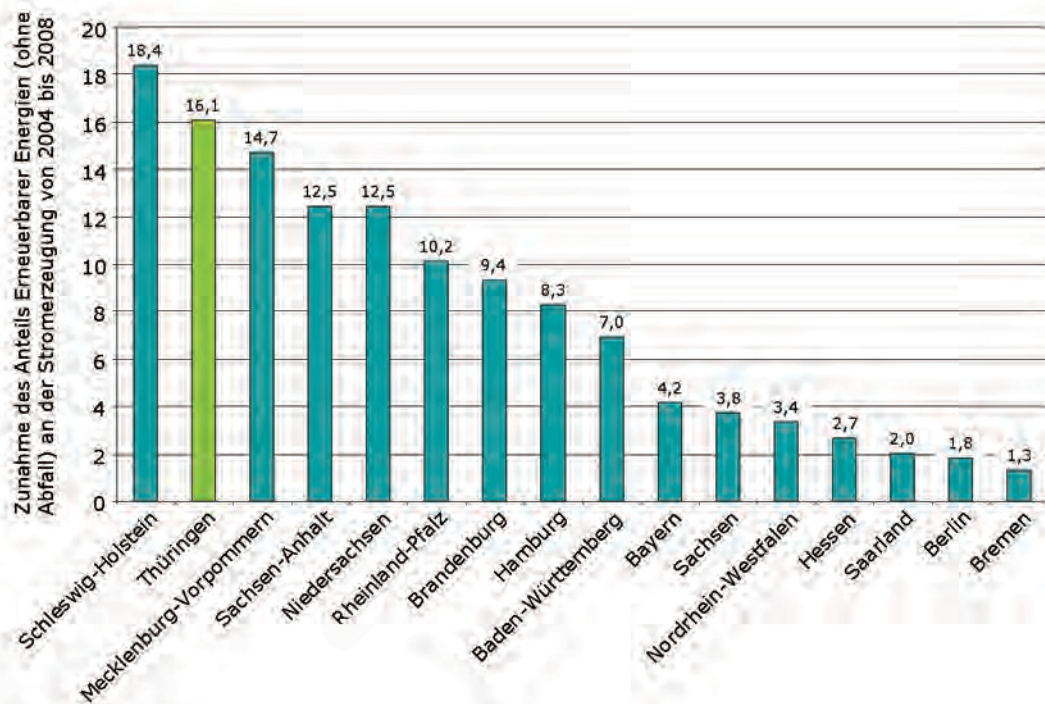


Abb. 47 Zunahme des Anteils erneuerbarer Energien (ohne Abfall) an der Stromerzeugung in den Bundesländern von 2004 bis 2008 (DIW 2010).

### Windkraft

Abbildung 48 stellt die im Jahr 2010 in den einzelnen Bundesländern installierte Windkraftleistung dar. Während in den vergangenen Jahren insbesondere in den Bundesländern Brandenburg und Sachsen-Anhalt neue Windkraftanlagen mit großen Leistungen errichtet wurden und damit diese Bundesländer eine Spitzenposition im Ländervergleich einnehmen, verharrt die installierte Windenergieleistung in Thüringen auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau. Dies ist zum einen auch auf die topografische Situation zurückzuführen: als Binnenland mit einem relativ hohen Anteil an Mittelgebirgsflächen weist Thüringen ungünstigere Ausgangsbedingungen auf als etwa Brandenburg.

Hier lassen sich durchaus Parallelen zu den Nachbarländern Hessen und Sachsen ziehen, die sich auch bei einer spezifischen Darstellung der Windenergieleistung bezogen auf die Landesfläche ausdrückt (Abb. 49).

Allerdings wurden in den zurückliegenden Jahren in Thüringen neue Windkraftstandorte nur zögerlich ausgewiesen – ähnlich wie in Hessen. Somit bleibt die Nutzung der Windkraft in Thüringen bislang deutlich hinter den Möglichkeiten zurück. Da Windenergie eine bezogen auf die Fläche sehr effiziente regenerative Energieform ist, trägt der relativ niedrige Windkraftanteil Thüringens auch zu dem insgesamt niedrigen Anteil an der gesamten Stromerzeugung aus regenerativen Energien bei. Niedersachsen, das im Bereich Windenergie die höchsten installierten Leistungen aufweist, steuert bundesweit den höchsten Anteil zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bei (Abb. 45).

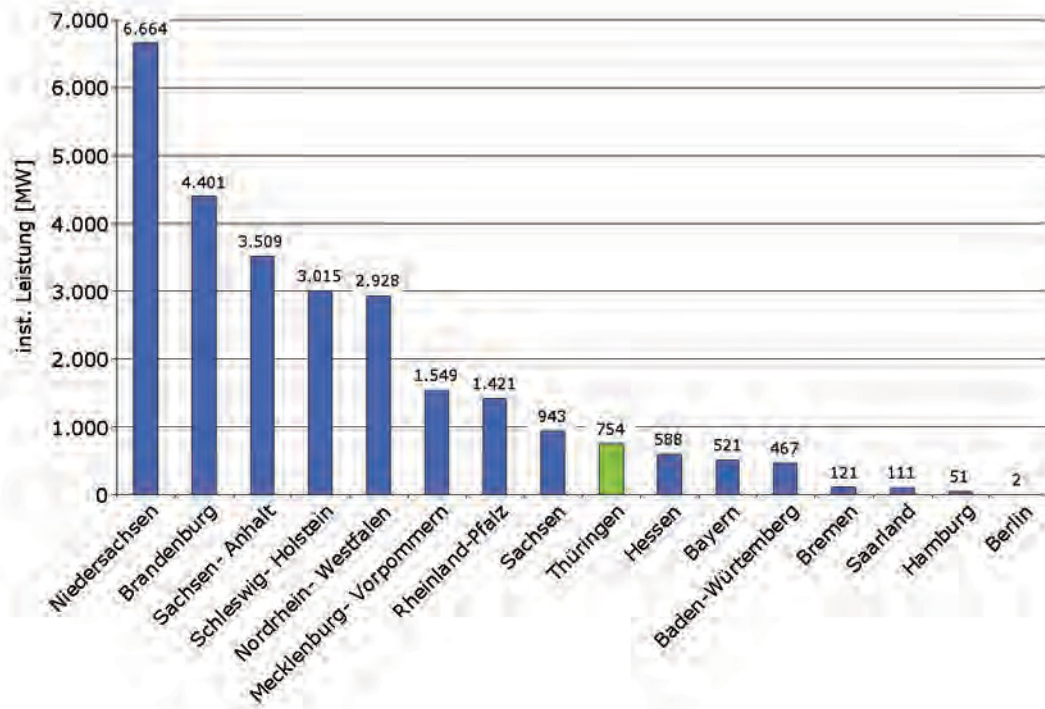


Abb. 48 Installierte Leistung von EEG vergüteten Windenergieanlagen nach Bundesland im Jahr 2010 (in Megawatt) (Molly 2011).

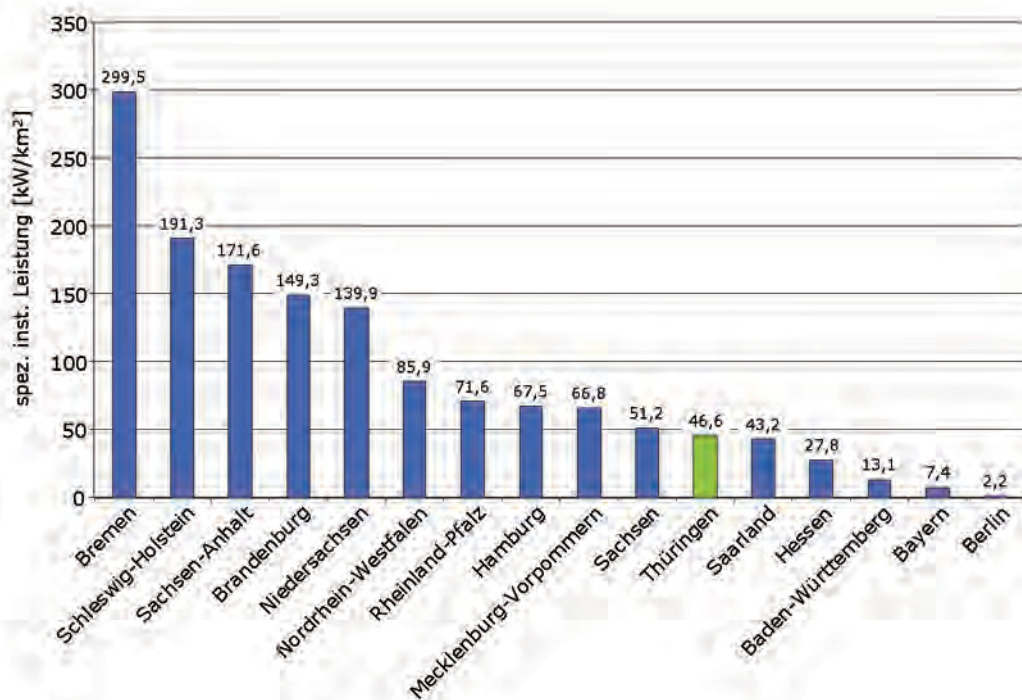


Abb. 49 Spezifische installierte Leistung von EEG vergüteten Windenergieanlagen nach Bundesland im Jahr 2010 (in Megawatt) bezogen auf die Landesfläche (Molly 2011), eigene Berechnungen.



## Photovoltaik

Obwohl sich der Freistaat Thüringen in den zurückliegenden Jahren zu einem Zentrum der PV-Industrie entwickelt hat, konnte sich diese erfreuliche Entwicklung bislang nicht in den im Land installierten PV-Leistungen niederschlagen. Wie Abbildung 50 zeigt, nimmt Thüringen im Bereich der Stromerzeugung aus Photovoltaik im Ländervergleich nur einen hinteren Platz ein.

Auch im Zubau im Jahr 2010 fällt Thüringen gegenüber seinen Nachbarländern – bei vergleichbaren Einstrahlungsbedingungen für die Solarstrahlung zurück (Abb. 51).

Allerdings ist bei diesem Vergleich zu berücksichtigen, dass PV-Anlagen vorwiegend auf Gebäuden errichtet werden. Daher ist es sinnvoll, die installierte Leistung auf die Einwohnerzahlen zu beziehen, wie dies in Abbildung 52 dargestellt ist. Hier relativieren sich die Unterschiede zwischen Thüringen und seinen unmittelbaren Nachbarn. Die hohen spezifischen PV-Leistungen in den südlichen Bundesländern sind neben den besseren Einstrahlungsbedingungen auch auf andere Faktoren zurückzuführen, wie unter anderem eine höhere wirtschaftliche Leistungskraft und ein höheres Pro-Kopf-Einkommen.

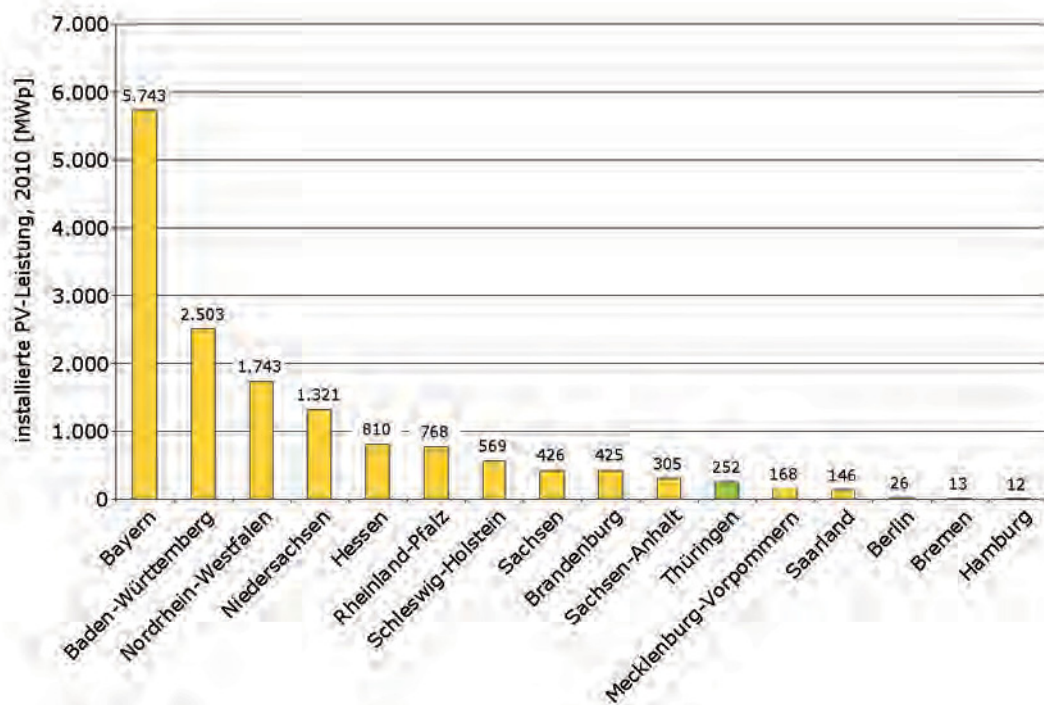


Abb. 50 Installierte PV-Leistung nach Bundesländern im Jahr 2010 (in Megawattpeak) (Photon 2011).

\*(297 Megawatt: Stand Mai 2011, siehe Tabelle 20)

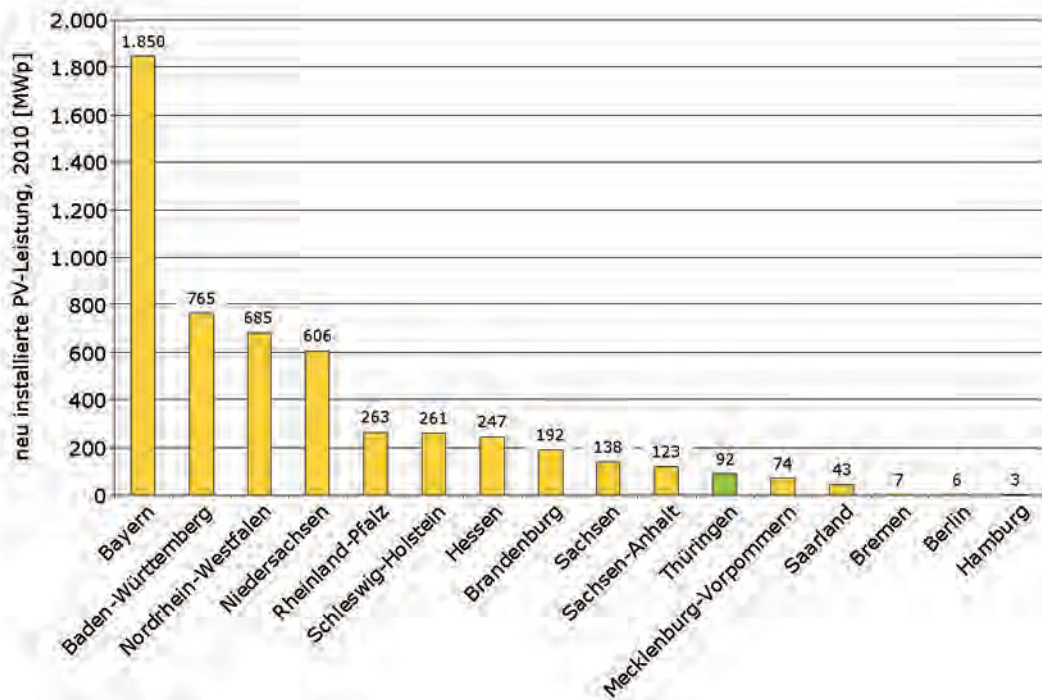


Abb. 51 Anteil der neu installierten Leistung in Megawattpeak nach Bundesländern auf dem Photovoltaik-Markt (BSW-Solar 2011:7).

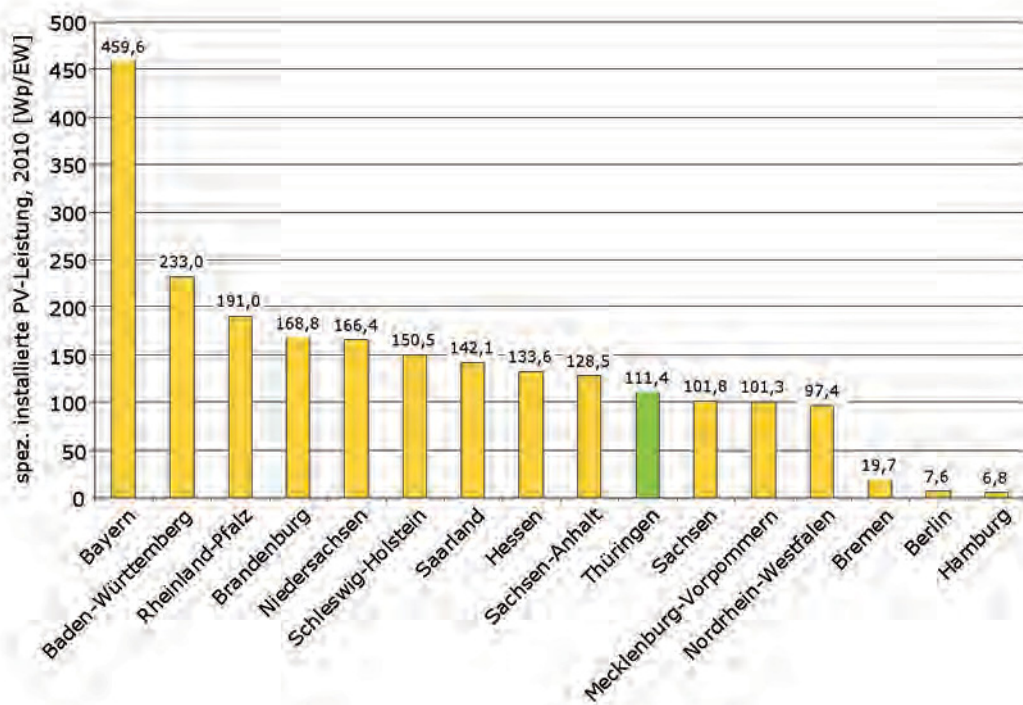


Abb. 52 Auf Einwohnerzahlen bezogene installierte PV-Leistung, 2010 (in Megawattpeak) (Photon 2011).

## Bioenergie

Wie im Rahmen dieser Studie bereits ausgeführt, stützt sich die Nutzung regenerativer Energien in Thüringen im Wesentlichen auf die Bioenergie. Dies drückt sich auch im direkten Vergleich der Bundesländer aus: während Thüringen im Bereich der Windenergienutzung und der Solarstromerzeugung im direkten Bundesländervergleich zurückfällt, nimmt es bei der Stromerzeugung aus Biomasse, wie in Abbildung 53 dargestellt, eine Position im Mittelfeld ein.

Wie eingangs bereits erwähnt, ist ein Vergleich der Bundesländer über absolute Zahlen problematisch. Da die Nutzung der Bioenergie stark an die zur Gewinnung von Bioenergieträgern verfügbare Fläche geknüpft ist, stellt Abbildung 54 die flächenspezifischen installierten Leistungen bezogen auf 1 Quadratkilometer dar. In dieser Darstellung nimmt Thüringen im Vergleich zu den anderen Flächenbundesländern eine führende Position ein. Damit spiegelt sich hier die erfolgreiche Politik des Freistaats beim Ausbau der Bioenergie in den vergangenen Jahren wider. Die Grafik zeigt eine Entwicklung auf, die sich in den vergangenen Jahren durch den relativ starken Ausbau der Biogasnutzung im Freistaat fortgesetzt hat.

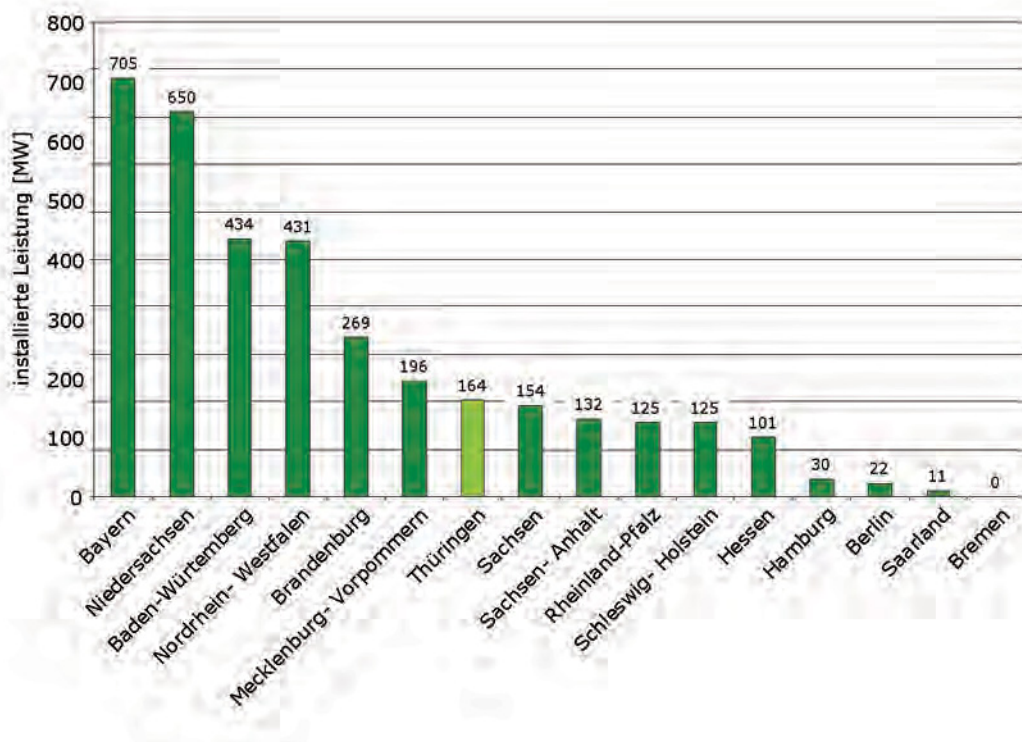


Abb. 53 Installierte Leistung von EEG vergüteten Biomasseanlagen nach Bundesland im Jahr 2008 (in Megawatt) (Bundesnetzagentur 2011).

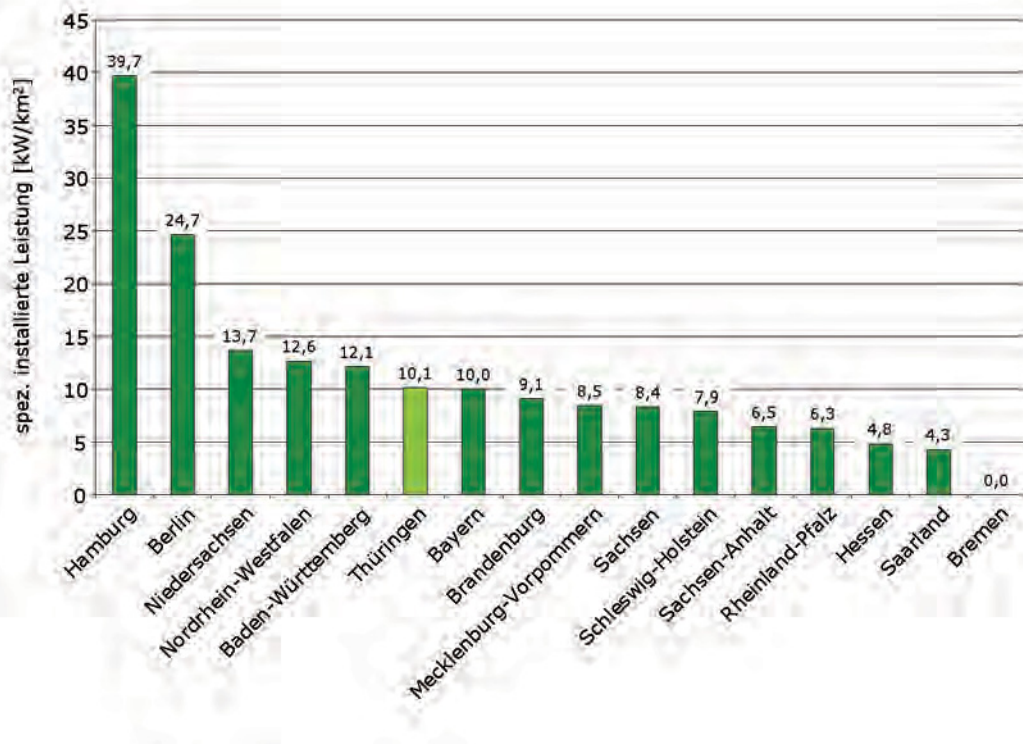


Abb. 54 Installierte Leistung von EEG vergüteten Biomasseanlagen bezogen auf die Landesfläche im Jahr 2008 (in Kilowatt pro Quadratkilometer) (Bundesnetzagentur 2011, eigene Berechnungen).

Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass Thüringen in den zurückliegenden Jahren verstärkte Anstrengungen zum Ausbau erneuerbarer Energien unternommen hat, die sich unter anderem in einem überdurchschnittlichen Ausbau in den letzten Jahren ausdrücken. Dennoch fällt Thüringen insbesondere im Bereich der Windenergienutzung deutlich hinter Bundesländern mit vergleichbaren Rahmenbedingungen zurück. Es erscheint daher nahe liegend, dass durch einen angemessenen Ausbau der Windenergie hohe Ausbauraten bei der Nutzung regenerativer Energien erzielt werden können und sich somit der Beitrag Thüringens zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland deutlich steigern lassen kann.

## 7.3 Potenziale erneuerbarer Energie

### 7.3.1 Rahmenbedingungen

In Thüringen ist der Einsatz sämtlicher erneuerbarer Energieoptionen möglich. Um diese Potenziale realitätsnah abzubilden, sind eine Reihe von Randbedingungen und Einschränkungen zu berücksichtigen.

Wärme lässt sich kaum speichern und nur mit deutlichen Verlusten transportieren. Dezentrale Optionen der Wärmebereitstellung sind daher unmittelbar vor Ort zu nutzen. Um die Wärmespeicherung möglichst gering zu halten, sind saisonale Wärmeschwankungen und Heizperioden im Prognosemodell zu berücksichtigen. Nicht alle Siedlungsraumtypen können vollständig mit regenerativer Wärme dezentral versorgt werden (also mit Erdwärmesonden oder anderen wärmepumpengestützten Anlagen sowie Sonnenkollektoren). Dies gelingt nur im Wohnbereich IX (Einfamilienhausgebiete) und teilweise im Siedlungsraumtyp IV (dörfliche und kleinteilige Strukturen). Daraus folgt, dass in den anderen Siedlungsraumtypen die Heizwärmeversorgung aus anderen regenerativen Quellen ergänzt werden muss, zum Beispiel Biogas oder mit Hilfe von Wärmenetzen, die durch Blockheizkraftwerke betrieben werden. Im verdichteten Stadtraum bieten sich hier aufgrund der hohen Wärmebedarfsdichte dezentrale Wärmenetze an.



Energieträger, wie Biogas oder Holz lassen sich über größere Distanzen transportieren und am Ort des Bedarfs in Wärme umwandeln. In der Studie wird dies durch die Transformation von Biomasse in Wärme und Strom mit modernen Blockheizkraftwerken berücksichtigt.

Im Gegensatz zur Wärmebereitstellung ist die Einspeisung von Strom ins Stromnetz unabhängig vom Ort der Erzeugung. Aus diesem Grund werden die Potenziale der Stromerzeugung erst nach der Ausschöpfung der Potenziale im Wärmebereich bestimmt.

### 7.3.2 Erneuerbare Gesamtpotenziale

#### Überblick

Auf der Grundlage der Datenlage, der Annahmen und Prognosen ist festzustellen, dass Thüringen über große regenerative Energiepotenziale verfügt. Bereits im Referenzszenario wird eine deutliche Zunahme der regenerativen Energien bis 2050 erwartet. Abbildung 55 zeigt die regenerativen Erträge nach Energieform (Wärme, Strom, Treibstoffe) und Erzeugungsoption (Sonne, Wind, Wasser, Erdwärmesonden, Tiefengeothermie, Abwasserwärme, Biomasse und Biogas sowie Müll und Deponiegas) im Bezugsjahr 2010. Abbildung 56 zeigt die regenerativen Erträge zum Prognosehorizont 2050. Die Abbildungen 57 und 58 verdeutlichen die Zusammensetzung der regenerativen Energieerzeugung. Sie zeigen den regenerativen Wärme-Mix und Strom-Mix im Jahr 2050.

Im Wärmebereich wird der Beitrag der Biomasse am regenerativen Wärme-Mix mehr als zwei Drittel betragen. Sein relativer Anteil geht aber im Vergleich zu 2010 zurück. Die Nutzung von Erdwärmesonden wird bis 2050 deutlich zunehmen, ihr Anteil wird von etwa 1 Prozent auf 13 Prozent steigen. Sonnenkollektoren zur Warmwasserbereitstellung machen 11 Prozent am regenerativen Wärme-Mix aus (2010 etwa 1 Prozent).

Im Strombereich wird die Windkraft 2050 die Hälfte des regenerativen Strom-Mixes abdecken (2010 39 Prozent). Der Anteil der photovoltaischen Stromerzeugung wird von 8 Prozent auf 15 Prozent steigen. Die Biomasse wird 2050 nur noch einen Anteil von 30 Prozent am regenerativen Strom-Mix haben (2010 37 Prozent).

Die Produktion von Bio-Treibstoffen bleibt aufgrund der Einschränkungen bei den Anbauflächen (siehe Abschnitt 4.4 Stellschrauben) begrenzt. Trotzdem ist im Referenzszenario eine Verdopplung der Bio-Treibstoffproduktion zu erwarten.

In den Tabellen 26 bis 28 ist der jährliche Endenergieertrag aller Planungsregionen und des Freistaates Thüringen nach Produktionsoption bis zum Prognosehorizont aufgelistet. Die Tabellen 29 bis 31 zeigen die regenerative Energieerzeugung pro Einwohner. Die Tabellen spezifizieren die Steigerungsraten pro Planungsregion im Referenzszenario. Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass im Bereich der Müllverbrennung (MVA) der zukünftig zu erwartende Energieertrag mit Hilfe der zu erwartenden Reststoffaufkommen abgeschätzt wurde. Es wird angenommen, dass das regionsspezifische Abfallaufkommen zukünftig in der jeweiligen Planungsregion verbleibt und dort energetisch genutzt wird. Das ist zurzeit nicht der Fall. So besteht in Nordthüringen derzeit keine Anlage zur thermischen Abfallverwertung. Entsprechend ergeben sich hier die deutlichsten Veränderungen im Betrachtungszeitraum bis 2050. Im Abfallbereich bestehen keine zusätzlichen Potenziale, entsprechend ändern sich die Beiträge der energetischen Abfallverwertung zur Endenergieerzeugung in den einzelnen Szenarien nicht. Aufgrund des demographiebedingt verringerten Abfallaufkommens nehmen sie im Betrachtungszeitraum bis 2050 sogar leicht ab.

Im ambitionierten Szenario und im Exzellenzszenario (siehe Abschnitt 4 Zukunftsszenarien) kann die Nutzung der regenerativen Potenziale im Vergleich zum Referenzszenario deutlich gesteigert werden. Die Nutzung von Erdwärmesonden kann deutlich ausgebaut werden. In den verdichteten Bereichen wird Abwasserwärme zurück gewonnen. Relativ zum gesamten Endenergieaufkommen bleibt der Anteil der Tiefengeothermie vergleichsweise gering.

Im ambitionierten Szenario und im Exzellenzszenario kann die Stromerzeugung mit Großwindkraftanlagen und photovoltaisch über Dach- und Fassadenanlagen noch erheblich ausgebaut werden. Die Wasserkraft bleibt dagegen begrenzt, wie auch die Müllverbrennung und die Nutzung von Klär- und Deponiegasen.

In Anhang 3 sind neben den Daten für das Referenzszenario auch die Daten für das ambitionierte Szenario und das Exzellenzszenario aufgelistet.

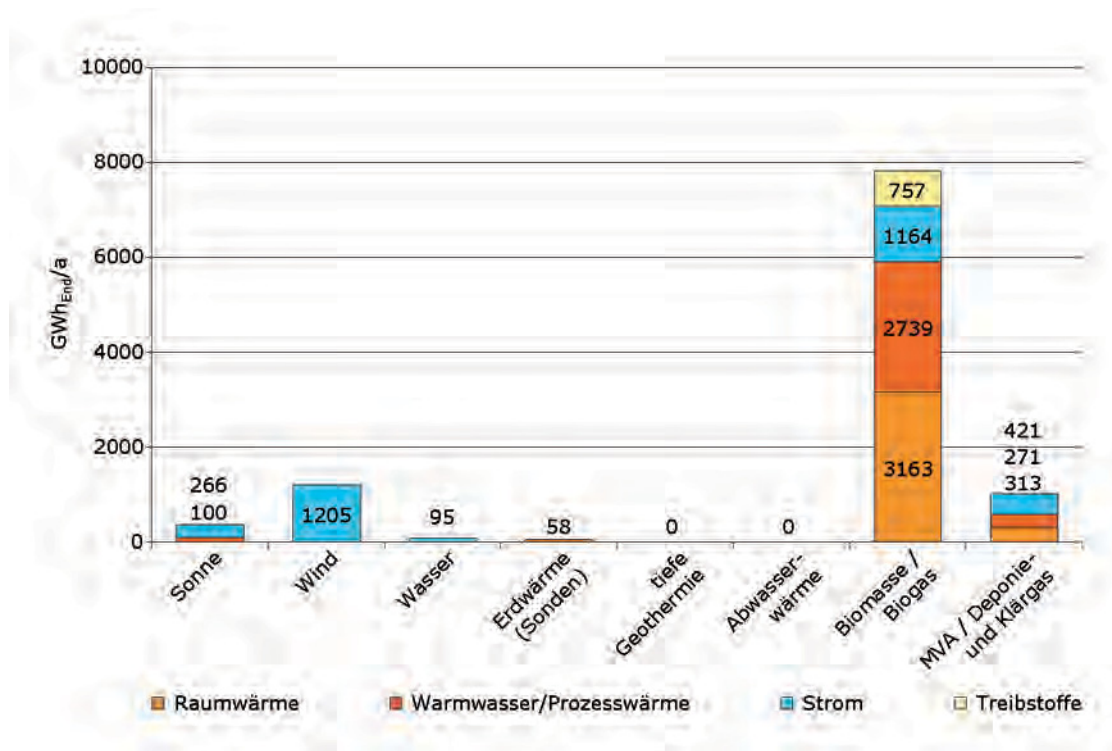


Abb. 55 Aktuelle erneuerbare Endenergieerträge (2010) in Thüringen (eigene Darstellung).

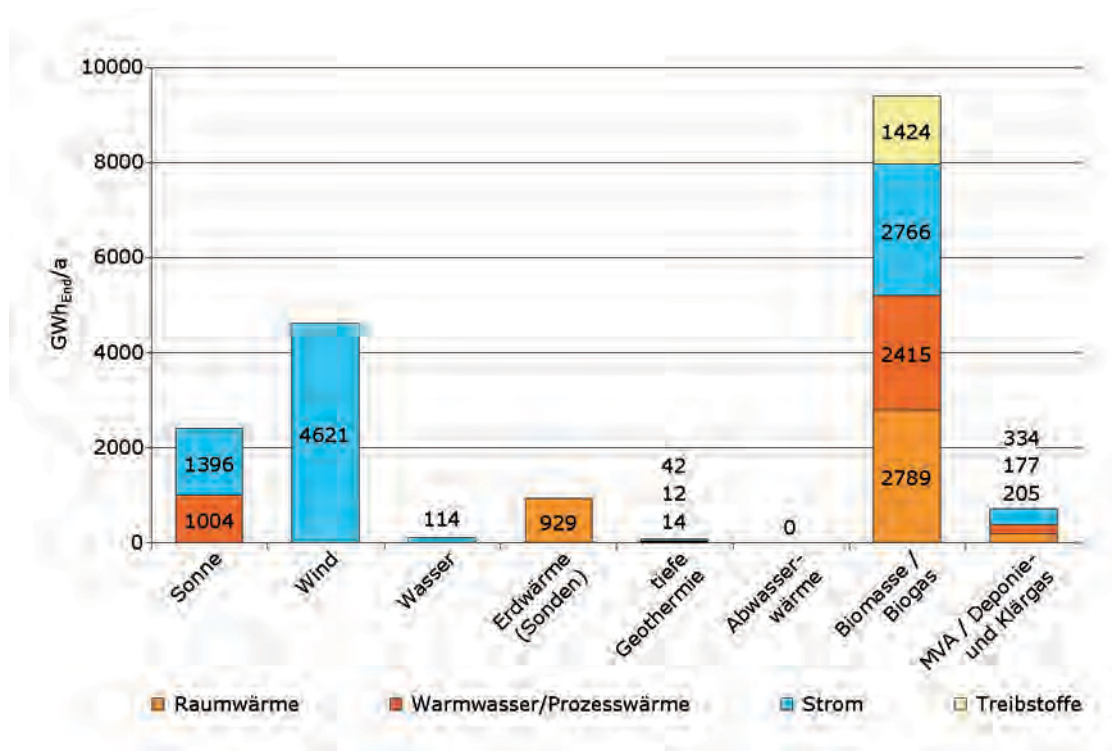


Abb. 56 Erneuerbare Endenergieerträge 2050 im Referenzszenario in Thüringen (eigene Darstellung).

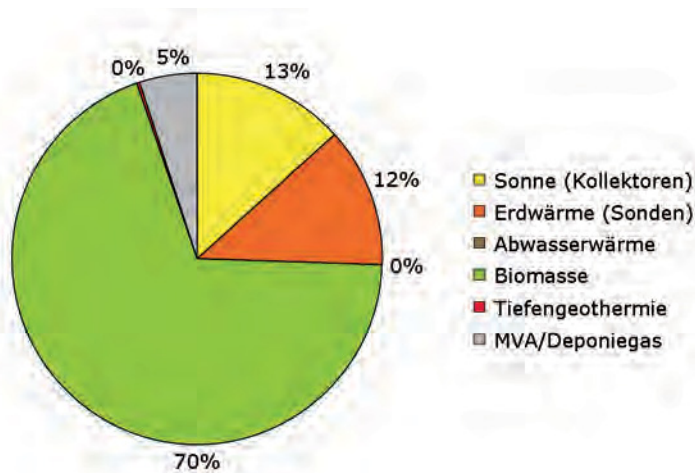


Abb. 57 Relative Verteilung der erneuerbaren Wärmebereitstellung (Endenergie) in Thüringen im Referenz-szenario 2050 (eigene Darstellung).

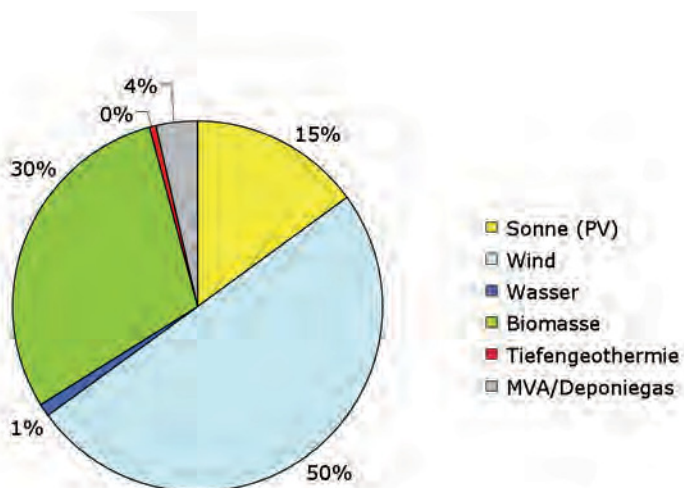


Abb. 58 Relative Verteilung der erneuerbaren Stromerzeugung (Endenergie) in Thüringen im Referenzszenario 2050 (eigene Darstellung).

**Tab. 26 Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) für die vier Planungsregionen und Thüringen im Referenzszenario.**

| Regenerativer<br>Wärmeertrag       | Sonne<br>(Kollektoren) | Erd-<br>wärme<br>(Son-<br>den) | Ab-<br>wasser-<br>wärme | Bio-<br>masse | Tiefen-<br>geo-<br>thermie | MVA /<br>Deponie-<br>gas | Summe |
|------------------------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------------|---------------|----------------------------|--------------------------|-------|
| GWh <sub>End</sub> /a <sup>1</sup> |                        |                                |                         |               |                            |                          |       |
| <b>Mittelthüringen</b>             |                        |                                |                         |               |                            |                          |       |
| 2010                               | 21                     | 18                             | 0                       | 1.030         | 0                          | 139                      | 1.208 |
| 2020                               | 68                     | 84                             | 0                       | 1.125         | 26                         | 145                      | 1.448 |
| 2030                               | 128                    | 154                            | 0                       | 1.220         | 26                         | 140                      | 1.669 |
| 2040                               | 182                    | 225                            | 0                       | 1.316         | 26                         | 133                      | 1.882 |
| 2050                               | 211                    | 295                            | 0                       | 1.411         | 26                         | 128                      | 2.070 |
| <b>Nordthüringen</b>               |                        |                                |                         |               |                            |                          |       |
| 2010                               | 17                     | 12                             | 0                       | 936           | 0                          | 4                        | 969   |
| 2020                               | 55                     | 56                             | 0                       | 1.037         | 0                          | 16                       | 1.164 |
| 2030                               | 104                    | 102                            | 0                       | 1.139         | 0                          | 32                       | 1.377 |
| 2040                               | 148                    | 148                            | 0                       | 1.240         | 0                          | 48                       | 1.584 |
| 2050                               | 171                    | 195                            | 0                       | 1.342         | 0                          | 64                       | 1.771 |
| <b>Ostthüringen</b>                |                        |                                |                         |               |                            |                          |       |
| 2010                               | 35                     | 20                             | 0                       | 2.988         | 0                          | 150                      | 3.193 |
| 2020                               | 113                    | 90                             | 0                       | 2.622         | 0                          | 135                      | 2.961 |
| 2030                               | 214                    | 165                            | 0                       | 2.256         | 0                          | 126                      | 2.761 |
| 2040                               | 304                    | 240                            | 0                       | 1.889         | 0                          | 117                      | 2.551 |
| 2050                               | 351                    | 316                            | 0                       | 1.523         | 0                          | 108                      | 2.298 |
| <b>Südwestthüringen</b>            |                        |                                |                         |               |                            |                          |       |
| 2010                               | 27                     | 8                              | 0                       | 949           | 0                          | 291                      | 1.275 |
| 2020                               | 87                     | 36                             | 0                       | 944           | 0                          | 237                      | 1.304 |
| 2030                               | 165                    | 65                             | 0                       | 938           | 0                          | 185                      | 1.354 |
| 2040                               | 234                    | 95                             | 0                       | 933           | 0                          | 134                      | 1.396 |
| 2050                               | 271                    | 124                            | 0                       | 928           | 0                          | 82                       | 1.405 |
| <b>Thüringen</b>                   |                        |                                |                         |               |                            |                          |       |
| 2010                               | 100                    | 58                             | 0                       | 5.903         | 0                          | 584                      | 6.645 |
| 2020                               | 324                    | 266                            | 0                       | 5.728         | 26                         | 533                      | 6.877 |
| 2030                               | 611                    | 487                            | 0                       | 5.553         | 26                         | 483                      | 7.161 |
| 2040                               | 868                    | 708                            | 0                       | 5.379         | 26                         | 432                      | 7.413 |
| 2050                               | 1004                   | 929                            | 0                       | 5.204         | 26                         | 382                      | 7.545 |

<sup>1</sup>Gigawattstunden Endenergie pro Jahr.

**Tab. 27 Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) für die vier Planungsregionen und Thüringen im Referenzszenario.**

| Regenerativer<br>Stromertrag       | Sonne<br>(PV) | Wind  | Wasser | Bio-<br>masse | Tiefen-<br>geo-<br>thermie | MVA/<br>Deponie-<br>gas | Summe |
|------------------------------------|---------------|-------|--------|---------------|----------------------------|-------------------------|-------|
| GWh <sub>End</sub> /a <sup>1</sup> |               |       |        |               |                            |                         |       |
| <b>Mittelthüringen</b>             |               |       |        |               |                            |                         |       |
| 2010                               | 72            | 370   | 9      | 149           | 0                          | 101                     | 701   |
| 2020                               | 256           | 889   | 10     | 303           | 42                         | 99                      | 1.599 |
| 2030                               | 366           | 1.062 | 11     | 456           | 42                         | 103                     | 2.040 |
| 2040                               | 401           | 1.235 | 12     | 610           | 42                         | 106                     | 2.406 |
| 2050                               | 406           | 1.408 | 13     | 763           | 42                         | 110                     | 2.742 |
| <b>Nordthüringen</b>               |               |       |        |               |                            |                         |       |
| 2010                               | 57            | 488   | 2      | 255           | 0                          | 4                       | 806   |
| 2020                               | 195           | 1.162 | 2      | 369           | 0                          | 28                      | 1.755 |
| 2030                               | 266           | 1.385 | 2      | 484           | 0                          | 38                      | 2.175 |
| 2040                               | 287           | 1.607 | 2      | 599           | 0                          | 47                      | 2.542 |
| 2050                               | 291           | 1.830 | 2      | 714           | 0                          | 57                      | 2.894 |
| <b>Ostthüringen</b>                |               |       |        |               |                            |                         |       |
| 2010                               | 73            | 234   | 60     | 627           | 0                          | 109                     | 1.103 |
| 2020                               | 253           | 544   | 63     | 684           | 0                          | 101                     | 1.644 |
| 2030                               | 346           | 654   | 65     | 740           | 0                          | 99                      | 1.904 |
| 2040                               | 372           | 764   | 68     | 797           | 0                          | 97                      | 2.097 |
| 2050                               | 378           | 873   | 71     | 853           | 0                          | 95                      | 2.270 |
| <b>Südwestthüringen</b>            |               |       |        |               |                            |                         |       |
| 2010                               | 65            | 112   | 23     | 133           | 0                          | 208                     | 541   |
| 2020                               | 219           | 313   | 25     | 209           | 0                          | 172                     | 938   |
| 2030                               | 295           | 379   | 26     | 284           | 0                          | 139                     | 1.123 |
| 2040                               | 316           | 445   | 27     | 360           | 0                          | 105                     | 1.253 |
| 2050                               | 321           | 511   | 28     | 436           | 0                          | 72                      | 1.367 |
| <b>Thüringen</b>                   |               |       |        |               |                            |                         |       |
| 2010                               | 266           | 1.205 | 95     | 1.164         | 0                          | 421                     | 3.151 |
| 2020                               | 923           | 2.908 | 99     | 1.564         | 42                         | 400                     | 5.936 |
| 2030                               | 1.274         | 3.479 | 104    | 1.965         | 42                         | 378                     | 7.242 |
| 2040                               | 1.375         | 4.050 | 109    | 2.365         | 42                         | 356                     | 8.298 |
| 2050                               | 1.396         | 4.621 | 114    | 2.766         | 42                         | 334                     | 9.273 |

<sup>1</sup>Gigawattstunden Endenergie pro Jahr.

**Tab. 28      Biotreibstoff-Produktion (Endenergie)  
für die vier Planungsregionen und  
Thüringen im Referenzszenario.**

| GWh <sub>End</sub> /a <sup>1</sup> |       |
|------------------------------------|-------|
| <b>Mittelthüringen</b>             |       |
| 2010                               | 232   |
| 2020                               | 281   |
| 2030                               | 330   |
| 2040                               | 379   |
| 2050                               | 428   |
| <b>Nordthüringen</b>               |       |
| 2010                               | 224   |
| 2020                               | 275   |
| 2030                               | 326   |
| 2040                               | 377   |
| 2050                               | 429   |
| <b>Ostthüringen</b>                |       |
| 2010                               | 202   |
| 2020                               | 246   |
| 2030                               | 291   |
| 2040                               | 335   |
| 2050                               | 379   |
| <b>Südwestthüringen</b>            |       |
| 2010                               | 99    |
| 2020                               | 121   |
| 2030                               | 144   |
| 2040                               | 166   |
| 2050                               | 188   |
| <b>Thüringen</b>                   |       |
| 2010                               | 757   |
| 2020                               | 924   |
| 2030                               | 1.091 |
| 2040                               | 1.258 |
| 2050                               | 1.424 |

<sup>1</sup>Gigawattstunden Endenergie pro Jahr.

**Tab. 29 Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) pro Einwohner für die vier Planungsregionen und Thüringen im Referenzszenario.**

| Regenerativer<br>Wärmeertrag          | Sonne<br>(Kollek-<br>toren) | Erd-<br>wärme<br>(Sonden) | Ab-<br>wasser-<br>wärme | Bio-<br>masse | Tiefen-<br>geo-<br>thermie | MVA /<br>Deponie-<br>gas | Summe |
|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------|----------------------------|--------------------------|-------|
| kWh <sub>End</sub> /EW*a <sup>1</sup> |                             |                           |                         |               |                            |                          |       |
| <b>Mittelthüringen</b>                |                             |                           |                         |               |                            |                          |       |
| 2010                                  | 31                          | 27                        | 0                       | 1.517         | 0                          | 205                      | 1.780 |
| 2020                                  | 105                         | 130                       | 0                       | 1.733         | 40                         | 224                      | 2.231 |
| 2030                                  | 206                         | 248                       | 0                       | 1.963         | 41                         | 225                      | 2.684 |
| 2040                                  | 306                         | 377                       | 0                       | 2.209         | 43                         | 224                      | 3.159 |
| 2050                                  | 370                         | 518                       | 0                       | 2.480         | 45                         | 225                      | 3.638 |
| <b>Nordthüringen</b>                  |                             |                           |                         |               |                            |                          |       |
| 2010                                  | 44                          | 32                        | 0                       | 2.429         | 0                          | 11                       | 2.516 |
| 2020                                  | 160                         | 162                       | 0                       | 3.018         | 0                          | 47                       | 3.387 |
| 2030                                  | 344                         | 338                       | 0                       | 3.767         | 0                          | 106                      | 4.554 |
| 2040                                  | 564                         | 567                       | 0                       | 4.737         | 0                          | 183                      | 6.051 |
| 2050                                  | 772                         | 881                       | 0                       | 6.071         | 0                          | 290                      | 8.013 |
| <b>Ostthüringen</b>                   |                             |                           |                         |               |                            |                          |       |
| 2010                                  | 50                          | 28                        | 0                       | 4.254         | 0                          | 214                      | 4.546 |
| 2020                                  | 181                         | 144                       | 0                       | 4.185         | 0                          | 216                      | 4.726 |
| 2030                                  | 385                         | 298                       | 0                       | 4.060         | 0                          | 227                      | 4.970 |
| 2040                                  | 629                         | 498                       | 0                       | 3.911         | 0                          | 242                      | 5.280 |
| 2050                                  | 854                         | 767                       | 0                       | 3.704         | 0                          | 263                      | 5.589 |
| <b>Südwestthüringen</b>               |                             |                           |                         |               |                            |                          |       |
| 2010                                  | 57                          | 17                        | 0                       | 2.020         | 0                          | 619                      | 2.713 |
| 2020                                  | 210                         | 86                        | 0                       | 2.268         | 0                          | 570                      | 3.134 |
| 2030                                  | 456                         | 180                       | 0                       | 2.590         | 0                          | 511                      | 3.737 |
| 2040                                  | 757                         | 306                       | 0                       | 3.012         | 0                          | 431                      | 4.506 |
| 2050                                  | 1055                        | 484                       | 0                       | 3.611         | 0                          | 319                      | 5.469 |
| <b>Thüringen</b>                      |                             |                           |                         |               |                            |                          |       |
| 2010                                  | 45                          | 26                        | 0                       | 2.640         | 0                          | 261                      | 2.972 |
| 2020                                  | 159                         | 131                       | 0                       | 2.814         | 13                         | 262                      | 3.378 |
| 2030                                  | 332                         | 264                       | 0                       | 3.015         | 14                         | 262                      | 3.887 |
| 2040                                  | 526                         | 429                       | 0                       | 3.259         | 16                         | 262                      | 4.492 |
| 2050                                  | 688                         | 637                       | 0                       | 3.569         | 18                         | 262                      | 5.174 |

<sup>1</sup>Kilowattstunden Endenergie pro Einwohner und Jahr.



**Tab. 30 Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) pro Einwohner für die vier Planungsregionen und Thüringen im Referenzszenario.**

| Regenerativer<br>Stromertrag          | Sonne<br>(PV) | Wind  | Wasser | Bio-<br>masse | Tiefen-<br>geo-<br>thermie | MVA/<br>Deponie-<br>gas | Summe  |
|---------------------------------------|---------------|-------|--------|---------------|----------------------------|-------------------------|--------|
| kWh <sub>End</sub> /EW*a <sup>1</sup> |               |       |        |               |                            |                         |        |
| <b>Mittelthüringen</b>                |               |       |        |               |                            |                         |        |
| 2010                                  | 106           | 546   | 14     | 220           | 0                          | 149                     | 1.034  |
| 2020                                  | 395           | 1.369 | 15     | 466           | 64                         | 153                     | 2.463  |
| 2030                                  | 589           | 1.707 | 17     | 734           | 67                         | 166                     | 3.280  |
| 2040                                  | 673           | 2.072 | 20     | 1.023         | 70                         | 178                     | 4.036  |
| 2050                                  | 714           | 2.473 | 22     | 1.341         | 74                         | 194                     | 4.818  |
| <b>Nordthüringen</b>                  |               |       |        |               |                            |                         |        |
| 2010                                  | 147           | 1.267 | 5      | 660           | 0                          | 11                      | 2.091  |
| 2020                                  | 566           | 3.380 | 6      | 1.075         | 0                          | 80                      | 5.107  |
| 2030                                  | 881           | 4.579 | 7      | 1.601         | 0                          | 126                     | 7.194  |
| 2040                                  | 1.095         | 6.139 | 8      | 2.288         | 0                          | 180                     | 9.710  |
| 2050                                  | 1.316         | 8.279 | 10     | 3.230         | 0                          | 258                     | 13.093 |
| <b>Ostthüringen</b>                   |               |       |        |               |                            |                         |        |
| 2010                                  | 105           | 333   | 86     | 893           | 0                          | 155                     | 1.570  |
| 2020                                  | 403           | 869   | 100    | 1.091         | 0                          | 161                     | 2.624  |
| 2030                                  | 623           | 1.177 | 118    | 1.332         | 0                          | 178                     | 3.428  |
| 2040                                  | 771           | 1.581 | 141    | 1.649         | 0                          | 200                     | 4.341  |
| 2050                                  | 919           | 2.123 | 172    | 2.075         | 0                          | 231                     | 5.520  |
| <b>Südwestthüringen</b>               |               |       |        |               |                            |                         |        |
| 2010                                  | 138           | 238   | 50     | 283           | 0                          | 442                     | 1.150  |
| 2020                                  | 527           | 753   | 59     | 502           | 0                          | 413                     | 2.254  |
| 2030                                  | 815           | 1.046 | 71     | 785           | 0                          | 383                     | 3.100  |
| 2040                                  | 1.019         | 1.436 | 87     | 1.162         | 0                          | 340                     | 4.044  |
| 2050                                  | 1.248         | 1.988 | 110    | 1.696         | 0                          | 280                     | 5.321  |
| <b>Thüringen</b>                      |               |       |        |               |                            |                         |        |
| 2010                                  | 119           | 539   | 42     | 520           | 0                          | 188                     | 1.409  |
| 2020                                  | 453           | 1.429 | 49     | 768           | 21                         | 196                     | 2.916  |
| 2030                                  | 691           | 1.889 | 57     | 1.067         | 23                         | 205                     | 3.931  |
| 2040                                  | 833           | 2.454 | 66     | 1.433         | 25                         | 216                     | 5.028  |
| 2050                                  | 957           | 3.169 | 78     | 1.897         | 29                         | 229                     | 6.359  |

<sup>1</sup>Kilowattstunden Endenergie pro Einwohner und Jahr.

**Tab. 31 Biotreibstoff-Produktion (Endenergie) pro Einwohner für die vier Planungsregionen und Thüringen im Referenzszenario.**

| kWh <sub>End</sub> /EW*a <sup>1</sup> |       |
|---------------------------------------|-------|
| <b>Mittelthüringen</b>                |       |
| 2010                                  | 342   |
| 2020                                  | 433   |
| 2030                                  | 531   |
| 2040                                  | 637   |
| 2050                                  | 753   |
| <b>Nordthüringen</b>                  |       |
| 2010                                  | 582   |
| 2020                                  | 801   |
| 2030                                  | 1.080 |
| 2040                                  | 1.442 |
| 2050                                  | 1.939 |
| <b>Ostthüringen</b>                   |       |
| 2010                                  | 287   |
| 2020                                  | 393   |
| 2030                                  | 523   |
| 2040                                  | 693   |
| 2050                                  | 923   |
| <b>Südwestthüringen</b>               |       |
| 2010                                  | 211   |
| 2020                                  | 292   |
| 2030                                  | 396   |
| 2040                                  | 535   |
| 2050                                  | 732   |
| <b>Thüringen</b>                      |       |
| 2010                                  | 339   |
| 2020                                  | 454   |
| 2030                                  | 592   |
| 2040                                  | 762   |
| 2050                                  | 977   |

<sup>1</sup>Kilowattstunde Endenergie pro Einwohner und Jahr.

### 7.3.3 Anteil der einzelnen regenerativen Energieoptionen

#### **Solarenergie**

Wie beim Bestand ist auch bei den Solarpotenzialen zwischen Stromerzeugung (Photovoltaik) und Wärmebereitstellung (Sonnenkollektoren) zu unterscheiden. Im Folgenden werden die Ergebnisse für das **Referenzszenario** vorgestellt. Im **ambitionierten Szenario** A/B und im **Exzellenzszenario** A/B werden im photovoltaischen Bereich deutlich höher Erträge erzielt (Anhang 3).

#### **Photovoltaik**

Die Entwicklung der photovoltaisch erzeugten Energie ist durch die zugrunde gelegten Rahmenbedingungen der einzelnen Szenarien im **Referenzszenario** (Tab. 27) am geringsten. Dabei sind die Zunahme des regenerativ erzeugten Stromertrages bis zum Jahr 2050 und das 2050 erreichbare Potenzial in der Planungsregion Mittelthüringen mit einem Zubau von 334 Gigawattstunden Endenergie (371 Megawatt) und einem Gesamtpotenzial von 406 Gigawattstunden Endenergie (451 Megawatt) am größten. Auch Ostthüringen weist mit 305 Gigawattstunden Endenergie Zubau (339 Megawatt) bis zum Jahr 2050 und 378 Gigawattstunden Endenergie (420 Megawatt) Gesamtpotenzial im Jahr 2050 vergleichsweise hohe Werte auf. Das hohe Potenzial ist auf eine höhere Bebauungsdichte in den Ballungsregionen Erfurt, Weimar, Jena und Gera zurückzuführen. Aufgrund der größeren Bevölkerung innerhalb dieser Regionen und einer geringeren Bevölkerungsabnahme bis 2050 sind die Zubauraten pro Einwohner in diesen Regionen jedoch am geringsten. Hier weisen Nord- und Südwestthüringen die größten relativen Zunahmen auf. In allen Regionen steigt das Potenzial asymptotisch mit kleiner werdender Zunahme auf den erreichbaren Wert im Jahr 2050. Der Strombedarf im Jahr 2020 wird im **Referenzszenario** in Mittelthüringen zu 6,6 Prozent, in Nordthüringen zu 8,8 Prozent, in Ostthüringen zu 6,0 Prozent und in Südwestthüringen zu 7,5 Prozent durch photovoltaische Stromerzeugung gedeckt.

Auch im **ambitionierten Szenario** A/B (Abb. A3-5, Anhang 3) sind Potenzial und Zubau bis 2050 in den dicht besiedelten und bebauten Gebieten Mittel- und Ostthüringens mit 1.581 (1.757 Megawatt) bzw. 1.810 Gigawattstunden Endenergie (2.011 Megawatt) am größten. Das Potenzial photovoltaisch erzeugten Stroms aller Regionen nimmt hier etwa linear zu. Gegenüber dem **Referenzszenario** vervielfacht sich das Potenzial im Jahr 2050 in Ostthüringen um den Faktor 4,8 am stärksten, in Nordthüringen hingegen mit dem Faktor 3,1 am geringsten. Abbildung A3-5 im Anhang 3 zeigt den wachsenden Anteil des PV-Stroms am regenerativen Stromertrag. Besonders tritt die Region Ostthüringen hervor. Der Strombedarf im Jahr 2020 kann im **ambitionierten Szenario** A/B in allen Planungsregionen zu rund 12 Prozent durch photovoltaische Stromerzeugung gedeckt werden.

Im **Exzellenzszenario** A/B (Abb. A3-6, Anhang 3) weisen Mittel- und Ostthüringen analog zu den anderen Szenarien den größten Zuwachs sowie das größte Potenzial im Jahr 2050 auf. Bei einer Potenzialvervielfachung gegenüber dem **Referenzszenario** um den Faktor 6,9 (Mittelthüringen) bzw. 8,5 (Ostthüringen) können Potenziale von 2.788 (3.100 Megawatt) bzw. 3.229 Gigawattstunden Endenergie (3.588 Megawatt) erreicht werden. In Ostthüringen steigt der Anteil des photovoltaisch erzeugten Stroms im Jahr 2050 auf 15 Prozent des regenerativen Stromangebotes. Der Strombedarf im Jahr 2020 kann im **Exzellenzszenario** A/B in allen Planungsregionen zu rund 20 Prozent durch photovoltaische Stromerzeugung gedeckt werden.

Die exakten Zahlen zum **ambitionierten Szenario** A/B und dem **Exzellenzszenario** A/B sind dem Anhang 3 zu entnehmen.

## Solarthermie

Im **Referenzszenario** wird in Anlehnung an die Leitstudie (BMU 2009) eine Einführungsrate unabhängig vom Wärmebedarf und den zur Verfügung stehenden Flächen zugrunde gelegt. Daher ist das **Referenzszenario** nicht unmittelbar mit den anderen Szenarien vergleichbar. Der Energiebedarf für Warmwasser und Prozesswärme im Jahr 2020 kann im Referenzszenario in Mittelthüringen zu 1,3 Prozent, in Nordthüringen zu 2,2 Prozent, in Ostthüringen zu 2,1 Prozent und in Südwestthüringen zu 2,5 Prozent durch solarthermische Wärmeerzeugung gedeckt werden.

Im **ambitionierten Szenario** A/B können im Jahr 2020 in Mittel- und Südwestthüringen rund 1,6 Prozent und in Ost- und Nordthüringen 1,5 Prozent des Warmwasser- und Prozesswärmebedarfs gedeckt werden. Im **Exzellenzszenario** A/B können 2020 in Mittelthüringen 2,6 Prozent, in Nordthüringen 2,3 Prozent, in Ostthüringen 2,2 Prozent und in Südwestthüringen 2,4 Prozent des Energiebedarfs für Warmwasser und Prozesswärme gedeckt werden.

Die exakten Zahlen zum **ambitionierten Szenario** A/B und dem **Exzellenzszenario** A/B sind dem Anhang 3 zu entnehmen.

## Windkraft

Im **Referenzszenario** wird davon ausgegangen, dass die vorhandenen Vorrangflächen optimal ausgenutzt werden (der Flächenbedarf einer 3-MW-Windkraftanlage beträgt 9 Hektar, auch eine Randbebauung der Vorrangflächen ist möglich, Nennleistung wird an 1.600 Stunden im Jahr erreicht) und dass in Zukunft die sich aktuell nicht in Vorranggebieten befindlichen Windkraftanlagen in eigens dafür geschaffenen „Zusatzflächen Repowering“ bündeln lassen. Es wird angenommen, dass bis zum Jahr 2020 die Windkraftanlagen mit Baujahr 2005 und älter erneuert (repowert) werden. Die jüngeren Anlagen werden ab 2020 ebenfalls durch 3-MW-Anlagen ersetzt. Es wird davon ausgegangen, dass die Schaffung dieser Zusatzflächen in den gleichen Landkreisen erfolgt, in denen derzeit die Windkraftanlagen außerhalb der ausgewiesenen Vorrangflächen stehen. Es wäre jedoch auch denkbar die Zusatzflächen auf Planungsregionsebene zentral für alle zugehörigen Landkreise zu schaffen. Unter diesen Annahmen ergeben sich für das Jahr 2020 ein Stromertrag von 889 Gigawattstunden in Mittelthüringen, 1.162 Gigawattstunden in Nordthüringen, 544 Gigawattstunden in Ostthüringen und 313 Gigawattstunden in Südwestthüringen.

Stellt man diese Erträge dem prognostizierten Strombedarf im **Referenzszenario** im Jahr 2020 gegenüber kann die Windkraft in Mittelthüringen gut ein Fünftel, in Ost- und Südwestthüringen ca. ein Zehntel und in Nordthüringen sogar die Hälfte des Strombedarfs decken. In Gesamtthüringen beträgt der Anteil der Windkraft am Strombedarf im Jahr 2020 rund 22 Prozent. Dieser Anteil ließe sich unter den Voraussetzungen des **Referenzszenarios** bis zum Jahr 2050 auf 38 Prozent erhöhen.

Für das **ambitionierte** und **Exzellenzszenario** A/B liegen andere Annahmen zu Grunde. So werden hier beispielsweise zusätzlich zu den ausgewiesenen Vorranggebieten Waldflächen (sofern hier keine weiteren Ausschlussgründe zutreffen) als potenziell nutzbare Flächen betrachtet. Dadurch kann das umsetzbare Potenzial erheblich gesteigert werden. So könnte bereits bis zum Jahr 2020 der Anteil der Windkraft am Gesamtstrombedarf (prognostizierter Strombedarf im **ambitionierten Szenario** A) Thüringens auf 66 Prozent gesteigert werden. Bei voller Ausschöpfung der zur Verfügung stehenden Gesamtfläche könnte im Jahr 2050 nahezu die doppelte Menge des in Thüringen benötigten Stroms durch die Windkraft bereitgestellt werden. Im **Exzellenzszenario** A/B könnte diese Menge unter Berücksichtigung weiterer Flächen bereits 2030 erzielt werden. Im Jahr 2050 könnte die Windkraft mit insgesamt rund 43 Terawattstunden mehr als das 3-fache des benötigten Stroms in Thüringen zur Verfügung stellen.

Im **ambitionierten Szenario** und im **Exzellenzszenario** A/B wird vorgegeben, dass die Neuanlagen, die ab 2020 installiert werden, eine Leistung von 4 Megawatt aufweisen und 2.000 Volllaststunden erbringen. Die im **ambitionierten Szenario** A/B und **Exzellenzszenario** A/B ermittelten Potenzialflächen werden bis 2020 zu einem Drittel und bis 2050 voll ausgelastet. Die exakten Zahlen zum **ambitionierten Szenario** A/B und dem **Exzellenzszenario** A/B sind dem Anhang 3 zu entnehmen.

## Wasserkraft

Die Steigerung der Erträge aus Wasserkraft wird für **alle Szenarien** gleich angenommen. Die Umsetzung der Potenziale erfolgt linear über alle Zeitschnitte gleichmäßig.

In Mittelthüringen wird der derzeitige Ertrag von rund 9 Gigawattstunden auf 10 Gigawattstunden im Jahr 2020 und auf 13 Gigawattstunden im Jahr 2050 erhöht. Nordthüringens Potenzial bleibt nahezu gleich bei rund 2 Gigawattstunden. Anders in den Regionen Ost- und Südwestthüringen. Aufgrund der bereits vorhandenen größeren Wasserkraftanlagen sind hier auch die deutlichsten Steigerungen zu erzielen. In Südwestthüringen von derzeit 23 Gigawattstunden auf 28 Gigawattstunden im Jahr 2050 und in Ostthüringen von 60 Gigawattstunden auf 71 Gigawattstunden im Jahr 2050. Im Bezug auf den prognostizierten Strombedarf im **Referenzszenario** (Anhang 2) kann die Wasserkraft einen Anteil von knapp 1 Prozent am Endenergiebedarf Strom im Jahr 2050 decken. Am regionsspezifischen Strombedarf fallen die Deckungsgrade unterschiedlich aus. So kann die Wasserkraft in Nordthüringen lediglich 0,1 Prozent des prognostizierten Strombedarfs dieser Region im Jahr 2050 im Referenzszenario decken. In Ostthüringen kann hingegen fast 2 Prozent des prognostizierten Strombedarfs durch Wasserkraft im Jahr 2050 gedeckt werden.

Aus Sicht der Thüringer Fernwasserversorgung bestehenden realistischen Zusatzpotenziale an Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren. Durch diese könnte, bei Veränderung der politischen und technischen Rahmenbedingungen, der Ertrag aus Wasserkraft zusätzlich gesteigert werden. Dies betrifft die Hochwasserrückhaltebecken Ratscher (Potenzial 192.496 Kilowattstunden pro Jahr), Grimmelshausen (Potenzial 329.993 Kilowattstunden pro Jahr), die Talsperre Zeulenroda (Potenzial 876.543 Kilowattstunden pro Jahr), die Talsperre Hohenleuben (Potenzial 72.186 Kilowattstunden pro Jahr), die Talsperre Scheibe-Alsbach (Potenzial 42.538 Kilowattstunden pro Jahr), die Talsperre Weida sowie neue Wasserkraftanlagen an mehreren Hochbehältern in Mittel- und Nordthüringen).

## Umgebungswärme

Als Potenziale der Umgebungswärme werden hier im Wesentlichen die Potenziale von Erdwärmesonden bis 80 Meter Bohrtiefe betrachtet.

Das **Referenzszenario** (Abb. A3-1, Anhang 3 zeigt bis zum Jahr 2050 eine lineare Zunahme des Potenzials zur Wärmebereitstellung durch Umgebungswärme. Am stärksten treten hierbei die Regionen Mittel- und Ostthüringen hervor: 295 bzw. 316 Gigawattstunden Endenergie pro Jahr Potenzial im Jahr 2050. Anteilig an der regenerativen Wärmebereitstellung beträgt der potenzielle Wärmeertrag aus Umgebungswärme 14,3 Prozent. Der Wärmebedarf im Jahr 2020 kann im Referenzszenario in Mittelthüringen zu 2,3 Prozent, in Nordthüringen zu 2,7 Prozent, in Ostthüringen zu 2,2 Prozent und in Südwestthüringen zu 1,3 Prozent aus Umgebungswärme gedeckt werden.

Im **ambitionierten Szenario** A/B (Abb. A3-2, Anhang 3) steigen in allen Regionen und Zeitschnitten die erneuerbaren Wärmeerträge. Analog zum **Referenzszenario** nehmen Mittel- und Ostthüringen die Vorreiterrolle in absoluten Zahlen ein. Der Anteil der Umgebungswärme am Warmwasser- und Prozesswärmebedarf steigt in Ostthüringen im Jahr 2050 auf 13,7 Prozent. In diesem Szenario können in Mittel-, Nord- und Südwestthüringen 3,8 Prozent und in Ostthüringen 3,5 Prozent des Wärmebedarfes im Jahr 2020 gedeckt werden.

Dieser Trend setzt sich auch im **Exzellenzszenario** A/B (Abb. A3-3, Anhang 3) fort. Der Anteil der Umgebungswärme an der Warmwasser- und Prozesswärmebereitstellung steigt in Ostthüringen im Jahr 2050 auf 24,6 Prozent. Es können in Mittel- und Nordthüringen 6,5 Prozent, in Ostthüringen 6 Prozent und in Südwestthüringen 6,6 Prozent des Energiebedarfs im Jahr 2020 für Warmwasser und Prozesswärme durch Umgebungswärme gedeckt werden.

## Abwasserwärme

Die Potenziale der Abwasserwärmenutzung werden im **Referenzszenario** nicht in Betracht gezogen.

Gegenüber dem Potenzial zur Wärmebereitstellung im **ambitionierten Szenario** A/B (Abb. A3-2, Anhang 3) steigt das Potenzial in allen Planungsregionen und Zeitschnitten im **Exzellenzszenario** A/B (Abb. A3-3, Anhang 3). Innerhalb der

Szenarien vollzieht sich der Zuwachs pro Zeitschnitt analog der jeweils vorgegebenen Markteinführungskurve linear. Dabei ist das Potenzial im Jahr 2050 in Mittelthüringen aufgrund der größten Bevölkerungs- und Bebauungsdichte mit 56 Gigawattstunden Endenergie pro Jahr im **ambitionierten** bzw. 100 Gigawattstunden Endenergie pro Jahr im **Exzellenzszenario** A/B am größten. In der ähnlich strukturierten Region Ostthüringen sind die Potenziale etwas niedriger und die Regionen Nord- und Südwestthüringen weisen mit 38 bzw. 41 Gigawattstunden Endenergie pro Jahr im Jahr 2050 das geringste Potenzial auf.

Die Anteile an der regenerativen Wärmebereitstellung sind vergleichsweise gering und der Deckungsanteil am Wärmebedarf 2020 ist im **ambitionierten** und **Exzellenzszenario** A/B in allen Regionen deutlich unter 1 Prozent.

### **Tiefengeothermie**

Zur Abschätzung des tiefengeothermischen Potenzials in Thüringen wurden verschiedene Temperaturbereiche in unterschiedlichen Teufenintervallen auf die Fläche von Thüringen bezogen und der Energieinhalt sowie die mögliche elektrische Energieproduktion ermittelt. In 3.000 Meter Teufe sind Temperaturen von ca. 90 bis 100 Grad Celsius und in 5.000 Meter Teufe von 150 bis 170 Grad Celsius zu erwarten.

Weiterhin sind in einer Detailauswertung die technischen Potenziale und die Energien zur Stromerzeugung in Thüringen auf Flächen mit unterschiedlicher Lithologie und voraussichtlicher lithologischer Eignung nach derzeitigem Erfahrungsstand dargestellt worden. Untergliedert wurden die lithologischen Einheiten der tiefengeothermisch nutzbaren Horizonte im Wesentlichen in die Gruppen der Granite, Gneise, Tonschiefer und Grauwacken sowie der Phyllite.

Mit der angewandten Methodik wurden Vorranggebiete innerhalb des Freistaates ermittelt, in denen die geologischen Bedingungen für solche petrothermalen Verfahren sehr gut oder gut geeignet sind. Unter lithologischen Gesichtspunkten sind dies Gebiete mit Graniten und Gneisen im tieferen Untergrund, die insgesamt eine Fläche von über 6.000 Quadratkilometer einnehmen.

Die lithologischen Einheiten der Tonschiefer und der Phyllite wurden in ihrer Fläche und deren Potenzialen erfasst, aber als derzeit ungünstig in der Erschließung befunden und für eine Nutzung erst nach entsprechender Technologieentwicklung und Erlangung von Erfahrungen von geothermischen Untertageteilen in lithologischen Einheiten der Granite und Gneise vorgesehen.

In die weiteren Betrachtungen werden die Flächenpotenziale der Granite und Gneise mit einer sehr guten und guten Eignung zur Errichtung von EGS-Anlagen (*Enhanced Geothermal Systems*) mit einbezogen. Mit Blick auf die Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit der Tiefengeothermie ist grundsätzlich eine gekoppelte Stromerzeugung und Wärmeversorgung zu empfehlen, solange die Wärmenutzung nicht schon durch Kraft-Wärme-Kopplung mit anderen Energieträgern gegeben ist. Der Umstand, dass einige Städte Thüringens über Fernwärmenetze verfügen oder auch industrielle Wärme-Großabnehmer vorhanden sind, ist eine hervorragende Voraussetzung für den Anschluss einer Tiefengeothermie-Anlage.

Auf der Fläche der lithologischen Einheiten von Graniten und Gneisen in Thüringen (6.102 Quadratkilometer) wurde eine verfügbare gesamte Wärmekapazität („heat in place“) von etwa  $8,0 \cdot 10^{21}$  Joule (entspricht ca. 8.000 Exajoule (1 Exajoule =  $10^{18}$  Joule)) ermittelt. Davon sind mit einem Gewinnungsfaktor aus jüngsten Bewertungen zur Stromerzeugung prinzipiell ca.  $1,4 \cdot 10^{21}$  Joule (1.400 Exajoule) an thermischer Energie verfügbar. Hiervon können ca.  $2,0 \cdot 10^{20}$  Joule (200 Exajoule) an elektrischer Energie unter Berücksichtigung der etwas geringeren Umwandlungsverluste (Wirkungsgrade von 11 bis 14,5 Prozent) von neueren Stromerzeugungsanlagen erzeugt werden. Dies entspricht insgesamt etwa dem hundertfachen des deutschen Jahresstrombedarfs von 2EJ. Bei einer insgesamt möglichen Wirkarbeit von 55.600 Terawattstunden könnten bei der sukzessiven Erschließung und Nutzung des Untergrundes über angenommene 1.000 Jahre dann ca. 55 Terawattstunden pro Jahr geothermisch erzeugt werden, was etwa 9 Prozent des jährlichen Bruttostromverbrauchs in Deutschland entspricht.

Im **Referenzszenario** ergibt sich danach ab dem Jahr 2020 ein jährlicher elektrischer Ertrag von rund 42 Gigawattstunden im Raum Erfurt. Durch die Nutzung der anfallenden Abwärme könnte ein thermischer Ertrag von ca. 26 Gigawattstunden erzielt und in ein örtliches Wärmenetz eingespeist werden.

Im **ambitionierten Szenario** A/B (Tabelle A3-5, Anhang 3) wird ebenfalls in Mittelthüringen die Errichtung einer Anlage bis 2020 angenommen. Der elektrische Ertrag beträgt 42 Gigawattstunden, der thermische Ertrag 26 Gigawattstunden. Eine weitere Anlage erzielt bis 2030 in Südwestthüringen (im Raum Meiningen) 42 Gigawattstunden elektrisch und 26 Gigawattstunden thermisch. Bis 2050 werden zusätzlich zwei Anlagen in Mittelthüringen (Sömmerda und Waltershausen) und eine Anlage in Südwestthüringen (Suhl) installiert. Damit ergibt sich ein elektrischer Gesamtertrag von rund 210 Gigawattstunden. Thermisch können rund 130 Gigawattstunden genutzt werden.

Im **Exzellenzszenario** A/B (Tabelle A3-6, Anhang 3) wird eine zügigere Errichtung von tiefergeothermischen Anlagen angenommen. Demnach sind zum Zeitschnitt 2020 zwei Anlagen (Erfurt und Meiningen) errichtet. In den darauf folgenden zehn Jahren werden zwei weitere Anlagen (Sömmerda und Waltershausen) errichtet. Bis 2050 werden in Suhl und Ilmenau je eine Anlage erbaut. Daraus ergibt sich ein Gesamtertrag von 252 Gigawattstunden elektrisch und 156 Gigawattstunden thermisch. Dies entspricht einem Anteil von knapp 2 Prozent am prognostizierten Endenergiebedarf Thüringens im Exzellenzszenario A.

## **Bioenergie**

Im Rahmen dieser Studie wurde zur Erhebung der Grunddaten im Wesentlichen auf veröffentlichte Daten des Statistischen Landesamtes Thüringens, der thüringischen Fachbehörden sowie die Auswertung von Literatur zu den jeweiligen Themenkreisen und digitalen topographischen Karten zurückgegriffen. Die Berechnung der Potenziale erfolgte auf Ebene der Gemeinden und damit in einer hohen räumlichen Auflösung. Ausnahme ist die Berechnung der Abfallpotenziale, da diese nur auf Kreisebene verfügbar sind. Eine Verteilung auf die Gemeinden über die Einwohnerzahl erschien nicht zweckmäßig, da Abfallkontingente nach einer Sammlung in zentralen Anlagen genutzt werden.

Zunächst wurden Primärenergiebeiträge für die einzelnen Fraktionen bestimmt. Über Konversionspfade – mit einem Schwerpunkt in der Wärme- bzw. kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung (KWK) – wurden mögliche Endenergiebeiträge berechnet. Die einzelnen, zum Teil komplexen Berechnungspfade sind im Anhang 3 beschrieben.

Der derzeitige Beitrag der Bioenergienutzung in Thüringen zur Deckung des Primärenergiebedarfs beläuft sich auf rund 18,5 Prozent. Damit stellt die Bioenergie bereits heute die zentrale regenerative Energiequelle im Freistaat, mit einem im Vergleich zu anderen Bundesländern hohen Anteil an der gesamten Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen.

Die Tabelle A3-17 im Anhang 3 fasst die verfügbaren Bioenergiepotenziale und den heute bereits genutzten Anteil auf Basis des **Referenzpotenzials** zusammen. Aus dieser Aufstellung lässt sich erkennen, dass die größten Biopotenziale in Thüringen im Bereich des Ackerbaus liegen. Insbesondere die sehr großen, heute noch so gut wie nicht genutzten Strohpotenziale stellen eine wichtige Energieressource in der Zukunft dar. Allerdings ist die energetische Nutzung von Stroh technisch nicht problemlos. Daher sind zu einer Aktivierung dieser Potenziale weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten nötig.

Insgesamt stellt die hier vorgenommene Bewertung der Bioenergiepotenziale eine konservative Bewertung dar, die gegenwärtige Restriktionen (Vorrang der Nahrungsmittelproduktion, Begrenzung des Energieholzanteils im Wald, Nutzungsbegrenzungen im Grünlandbereich) berücksichtigt.

Trotz dieser Begrenzungen konnte gezeigt werden, dass perspektivisch rund 23 Prozent des Primärenergiebedarfs im Freistaat aus Biomasse abzudecken sind. Damit ist das von der Thüringer Landesregierung im Bioenergieprogramm formulierte Ausbauziel mittelfristig erreichbar. Ein weiterer Ausbau der Bioenergienutzung würde allerdings veränderte Rahmenbedingungen, so etwa einen ausgeweiteten Anbau von Energiepflanzen, voraussetzen.

Fasst man die vorstehenden berechneten Einzelpotenziale zusammen, so könnte im **Referenzszenario** aus der energetischen Nutzung der Biomasse in Thüringen ein Primärenergiepotenzial von 43.160 Terajoule pro Jahr gewonnen werden. Hinzu kommt ein ergänzender Anteil aus der energetischen Nutzung des Hausmülls in Höhe von 1.328 Terajoule pro Jahr sowie 4.100 Terajoule pro Jahr für die Gewinnung von Kraftstoffen. Unter Berücksichtigung des Primärenergieverbrauchs in Thüringen im Jahr 2009 von 246.334 Terajoule (TLS 2011a) könnte die Bioenergie einen Anteil von rund 19,8 Prozent an diesem Primärenergieverbrauch abdecken. Mittelfristig wird es in der Bundesrepublik Deutschland zu einer deutlichen Verringerung des Primärenergiebedarfs kommen. So geht das Bundesministerium für Umwelt,



Naturschutz und Reaktorsicherheit in seiner Prognose „Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland“ (BMU 2009) davon aus, dass sich der Primärenergiebedarf bis zum Jahr 2020 gegenüber dem Stand 2007 um 17 Prozent verringert. Überträgt man diese Entwicklung auf den Freistaat Thüringen, so würde sich der Beitrag der Bioenergie am Primärenergiebedarf auf rund 24 Prozent erhöhen.

Die in der vorliegenden Studie für den Freistaat Thüringen ermittelte aktuelle Nutzung von Bioenergie liegt in einer vergleichbaren Größenordnung, wie sie sich aus einer Studie der TLL ableiten lässt (TLL 2010). Damit erscheinen diese Ergebnisse vergleichsweise robust.

Das **Referenzszenario** beruht im Bereich der Bioenergie im Wesentlichen auf einer Fortschreibung des eingeschlagenen Wegs, wie er im Bioenergieprogramm der Landesregierung formuliert ist. In den beiden anderen Szenarien werden die Anteile der Bioenergie insbesondere im Bereich „Energiepflanzen“ sowie „Waldholz“ erhöht. In Tabelle A3-15 im Anhang 3, in der die Parameter der drei Szenarien vergleichend gegenübergestellt werden, fällt allerdings die Erweiterung der Biomassepotenziale moderat aus. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Bioenergie bereits heute einen hohen Beitrag zur Energieversorgung in Thüringen leistet. In der Diskussion mit Fachkreisen in Thüringen wurden daher die Möglichkeiten zu einer Ausweitung der Bioenergienutzung über das bisher im Bioenergieprogramm festgelegte Maß hinaus zurückhaltend bewertet.

Tabelle A3-16 des Anhangs 3 fasst die Primärenergiepotenziale der einzelnen Biomassefraktionen zusammen. Durch die veränderten Rahmenbedingungen lässt sich das Bioenergiepotenzial Thüringens im **ambitionierten Szenario** A/B um rund 11 Prozent steigern, im **Exzellenzszenario** A/B kommt es zu einer Erhöhung um rund 28 Prozent gegenüber dem Referenzwert. Bezogen auf den Anteil am Primärenergiebedarf Thüringens im Jahr 2009 würde sich der Anteil der Bioenergie somit im **ambitionierten Szenario** A/B auf 22,1 Prozent erhöhen, im **Exzellenzszenario** A/B auf 25,3 Prozent. Unter Berücksichtigung des prognostizierten Rückgangs im Primärenergieverbrauch würden sich Anteile von rund 27 Prozent bzw. 30 Prozent ergeben.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der einzelnen Regionen fällt der kontinuierliche Rückgang des Biomassebeitrags zur Endenergieerzeugung in Ostthüringen auf. Dieser Rückgang beruht darauf, dass zurzeit in Thüringen deutlich mehr Holz als Bioenergieträger eingesetzt wird, als im Freistaat selbst verfügbar ist. Diese Holzenergienutzung ist aber nicht gleichmäßig auf Gesamtthüringen verteilt. So sind in der Region Ostthüringen zahlreiche Holzheizkraftwerke in Betrieb, die große Holzmengen binden. Entsprechend müssen diese Kontingente aus anderen Landesteilen bzw. aus Quellen außerhalb Thüringens beschafft werden. Die Szenarienanalyse blendet aber derartige Importe in eine Region oder einen Landkreis aus und beruht ausschließlich auf einer Bewertung der in den einzelnen Gemeinden tatsächlich verfügbaren Biomassepotenziale. Damit muss diese „Übernutzung“ der lokalen Ressourcen, die zukünftig unerwünscht ist, zwangsläufig zu einem Rückgang des Beitrags der Bioenergie in den kommenden Jahrzehnten führen. In den anderen Regionen Thüringens ist dieser Effekt nicht spürbar. Dies liegt zum einen an einer insgesamt geringeren Zahl an Holzheizwerken und -heizkraftwerken, zum anderen bestehen gerade in Nord- und Mittelthüringen große Potenziale im Bereich der landwirtschaftlichen Reststoffnutzung, so dass es hier zu einem insgesamt wachsenden Endenergiebeitrag der Bioenergie kommt.

### **7.3.4 Entwicklung der regenerativen Selbstversorgung in Thüringen**

Der Selbstversorgungsgrad gibt an, zu welchem Anteil der Energiebedarf einer Region aus erneuerbaren Energien gedeckt werden kann. Er ist damit gut geeignet um regionale Unterschiede zu verdeutlichen.

#### **7.3.4.1 Wärme**

Die Abbildung 59 zeigt den Wärmebedarf und die regenerative Wärmebereitstellung in Thüringen im Referenzszenario. Danach kann bis zum Prognosehorizont (2050) keine Selbstversorgung mit regenerativer Wärme im Freistaat erreicht werden. Es bleibt eine Versorgungslücke, die mit Energieimporten (fossil und regenerativ) zu füllen ist.

Auch im ambitionierten Szenario schließt sich diese Lücke nicht (Abb. 60). Wird die Effizienz im Wärmebereich durch eine Erhöhung der Sanierungsrate und Verbesserungen in der Wärmetechnik gesteigert (Abschnitt 4.4 Stellschrauben), wird die regenerative Versorgungslücke zwar deutlich kleiner, schließt sich aber immer noch nicht (Abb. 60).

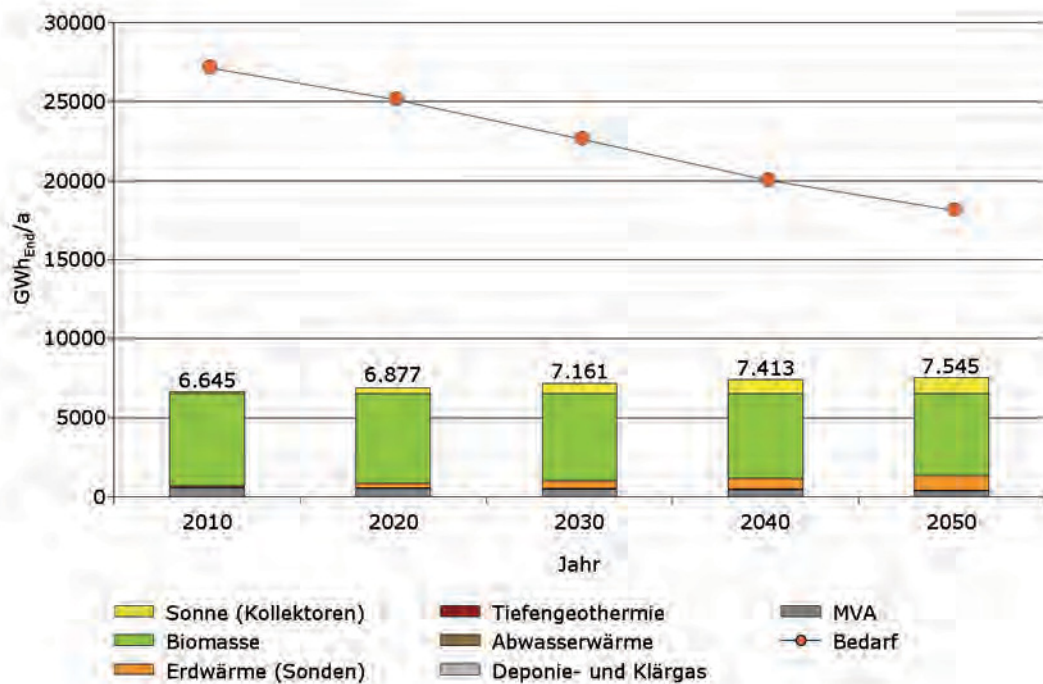


Abb. 59 Wärmebedarf und die regenerative Wärmebereitstellung in Thüringen im Referenzszenario (eigene Darstellung). Die Erträge der Sonnenkollektoren entsprechen der Ausschöpfung der Potenziale nach Abbildung 28 (Abschnitt 5.6 Einführungsraten).

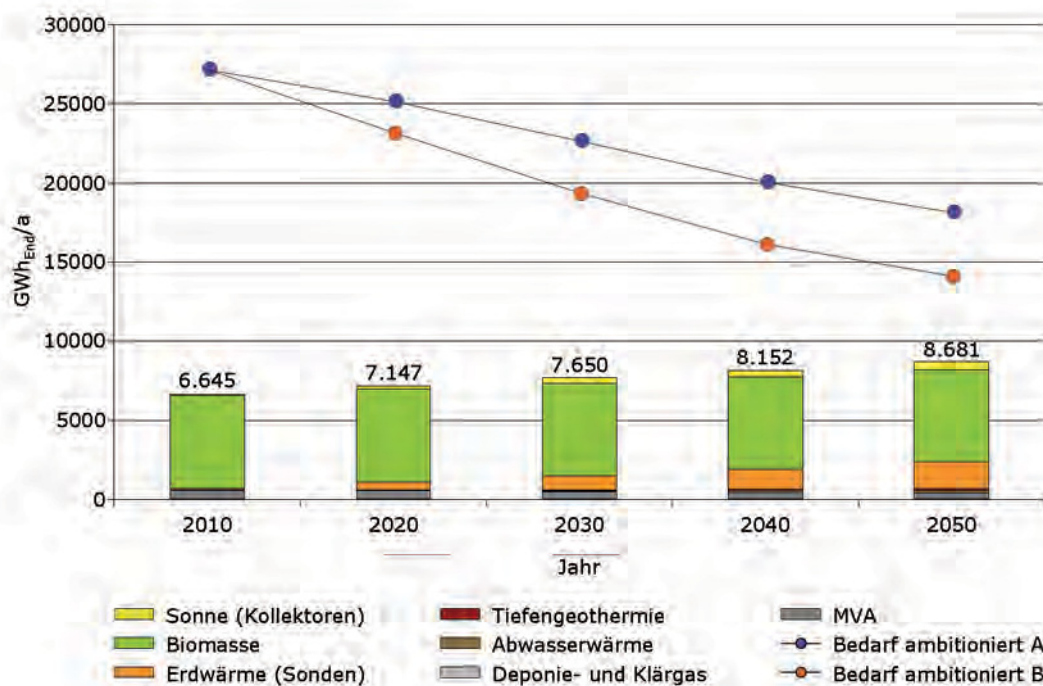


Abb. 60 Wärmebedarf und die regenerative Wärmebereitstellung in Thüringen im ambitionierten Szenario A (keine Effizienzsteigerung) und B (mit Effizienzsteigerung) (eigene Darstellung).

Die Erträge der Sonnenkollektoren entsprechen der Ausschöpfung der Potenziale nach Abbildung 28 (Abschnitt 5.6 Einführungsraten). Der Wert im Jahr 2050 ist auf 50% des maximal erreichbaren Potenzials begrenzt (Abschnitt 4.5 Stellschrauben). Daher ist der Wert im ambitionierten Szenario kleiner als im Referenzszenario, in dem der Wert lediglich durch den maximalen Warmwasserbedarf begrenzt wird. Der Wärmebedarf und die regenerative Wärmebereitstellung im Exzellenzszenario A und B ist im Anhang 4 (Abb. A4-1) dargestellt.

Die Biomasse deckt in allen Szenarien den größten Teil der erneuerbaren Wärmeversorgung ab. Der Anteil kann jedoch nicht mehr signifikant gesteigert werden, da die Biomasse bereits aktuell in einem hohen Maß zur erneuerbaren Wärmeversorgung (z. B. Waldrestholz) genutzt wird.

Die Nutzung von Erdwärmesonden wird im ambitionierten Szenario ausgebaut (Abb. 60) und im Exzellenzszenario noch weiter gesteigert (wie in Kapitel 5 beschrieben, im ambitionierten Szenario auf 50 Prozent und im Exzellenzszenario auf 90 Prozent des Maximalpotenzials). Im dörflichen Bereich (SRT IV), in den Werks- und Genossenschaftssiedlungen (SRT V) und bei den Zweckbauten und öffentlichen Einrichtungen (SRT XI) wurde das Maximalpotenzial jedoch um 50 Prozent reduziert, so dass es nicht zu einer theoretischen Überversorgung mit regenerativer Wärme aus bereits genutzter Biomasse kommt. Diese Reduktion beruht auf Schätzungen der Projektgruppe Thüringer Potenzialatlas. Trotz dieser Restriktionen können die Erdwärmesonden in allen Szenarien einen beachtlichen Beitrag zur regenerativen Wärmeversorgung leisten.

In Anhang 4 sind die regenerativen Selbstversorgungsgrade für alle Wärmeszenarien aufgelistet.

#### **7.3.4.2 Strom**

In Abbildung 61 sind die regenerative Stromerzeugung und der Strombedarf im Referenzszenario zu sehen. Hier werden bereits 2020 45 Prozent des Strombedarfs regenerativ gedeckt. Dabei tragen der Wind und die Biomasse hauptsächlich zur Erreichung dieses Ziels bei. Die Photovoltaik nimmt zwar insgesamt zu, erreicht aber nicht die Größenordnungen der Windkraft oder der Biomasse.

Im ambitionierten Szenario A werden zu diesem Zeitpunkt bereits 94 Prozent gedeckt (Abb. 62) In diesem Fall könnte der Freistaat ab 2025 Strom exportieren. Hier kann die Photovoltaik im Vergleich zum Referenzszenario deutlich zulegen und ist bereits im Jahr 2020 mit der Biomasse nahezu gleichauf. Bereits 2030 wird die Photovoltaik mehr regenerativen Strom als die Biomasse bereitstellen. Die Windkraft dominiert in allen Zeitschnitten deutlich. Werden zusätzlich Anstrengungen zur Effizienzerhöhung unternommen, wird die Selbstversorgung noch schneller erreicht (Abb. 62). Die Effizienzsteigerung ist deutlich an der Abnahme des Strombedarfs zu erkennen. Die Selbstversorgungsgrade aller Szenarien sind im Anhang 4 einzusehen. Die Abbildung A4-2 im Anhang 4 stellt die Strombedarfe und die erneuerbare Stromerzeugung im Exzellenzszenario A und B dar.

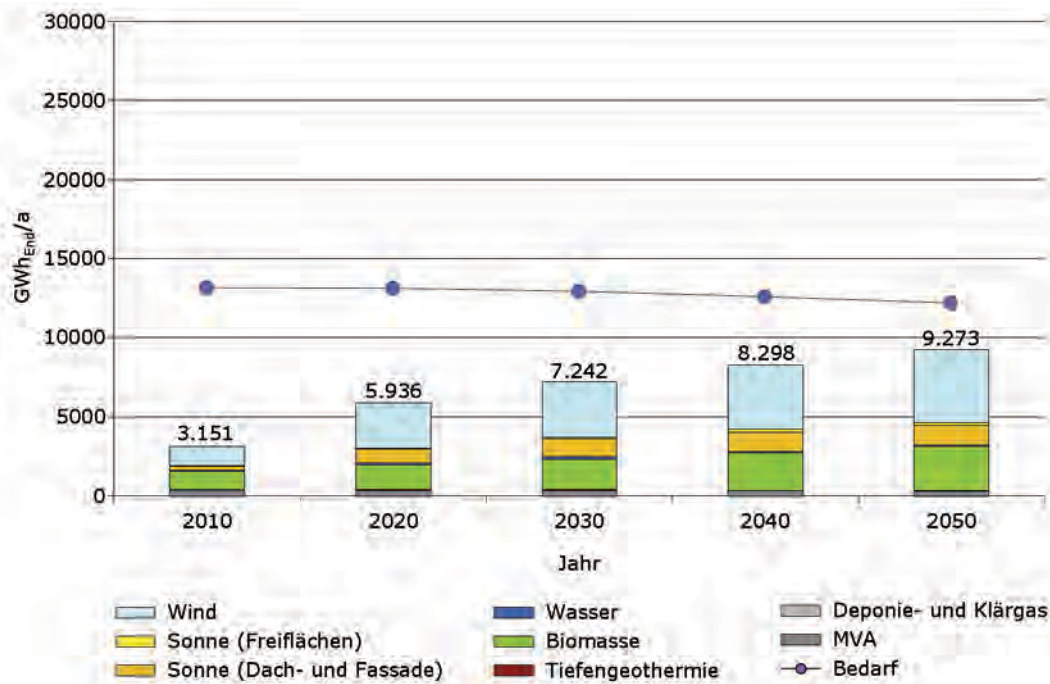


Abb. 61 Strombedarf und regenerative Stromerzeugung in Thüringen im Referenzszenario (keine Effizienzsteigerung) (eigene Darstellung).

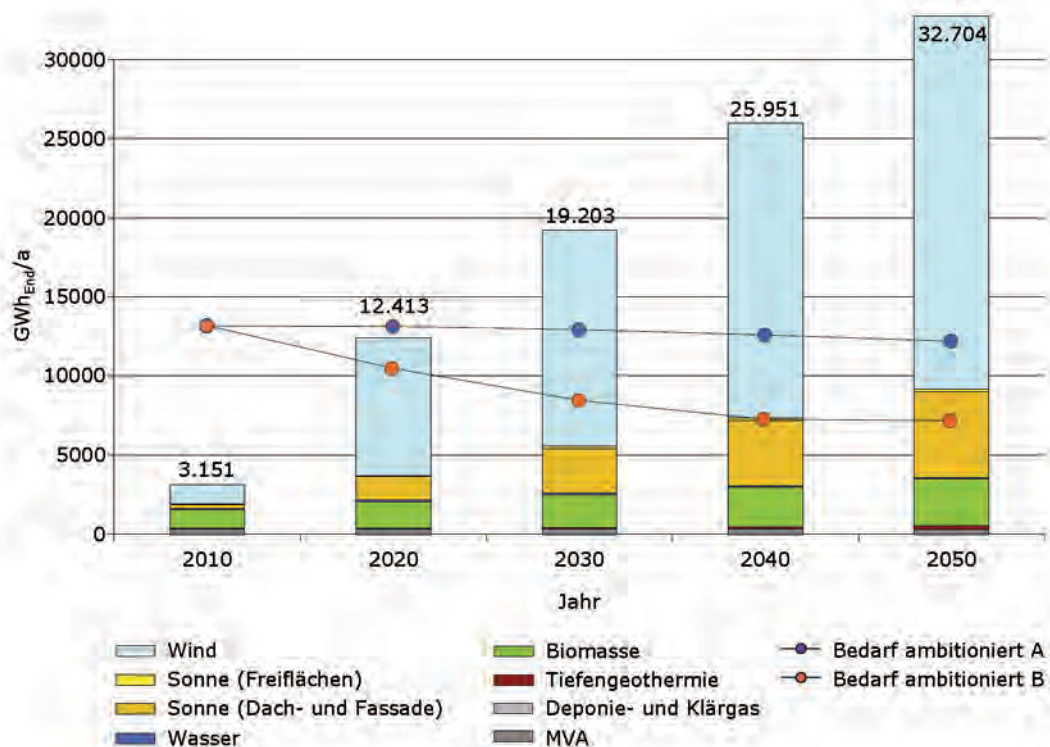


Abb. 62 Strombedarf und die regenerative Stromerzeugung in Thüringen im ambitionierten Szenario A (keine Effizienzsteigerung) und B (mit Effizienzsteigerung) (eigene Darstellung).

### 7.3.4.3 Treibstoffe

Der regenerative Selbstversorgungsgrad im Treibstoffbereich wird auch in Zukunft gering bleiben. Aufgrund der begrenzten Anbaufläche (siehe Abschnitt 4.4 Stellschrauben) wird er 2050 im Referenzszenario und im ambitionierten



Szenario nur 16 Prozent betragen. Durch Effizienzsteigerung lässt er sich im ambitionierten Szenario auf 21 Prozent, im Exzellenzszenario sogar auf 26 Prozent erhöhen. Dies setzt jedoch eine rigorose Förderung der Elektromobilität voraus. In Anhang 4 sind die regenerativen Selbstversorgungsgrade für Biotreibstoffe für alle Szenarien aufgelistet.

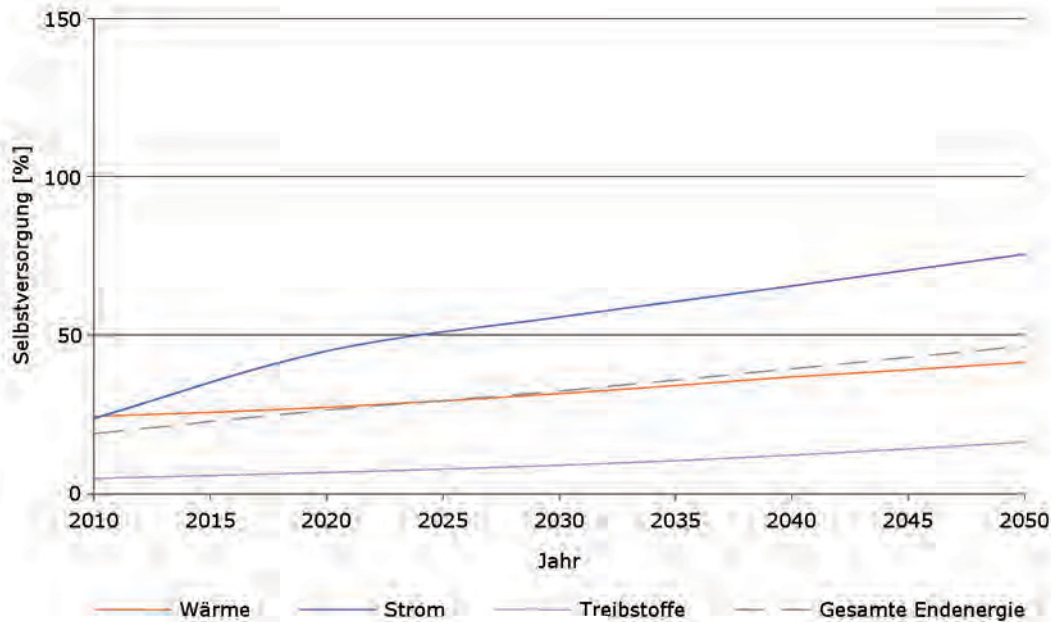


Abb. 63 Entwicklung der regenerativen Selbstversorgungsgrade im Freistaat Thüringen im Referenzszenario (eigene Darstellung).

### 7.3.5 Vergleich der Nutzung erneuerbarer Energien auf Planungsregionsebene

#### **Selbstversorgungsgrade**

Um einen regionalen Vergleich zu erlauben, wurden die Selbstversorgungsgrade aller Planungsregionen ermittelt. Abbildungen 64 bis 67 zeigen die Selbstversorgungsgrade im Wärme-, Strom- und Treibstoffbereich für Mittel-, Nord-, Ost- und Südwestthüringen im Referenzszenario. Die Ermittlung erfolgte in Zeitscheiben von fünf Jahren. Die regionalen Selbstversorgungsgrade für alle Szenarien, Zeitschnitte und Energieformen sind in Anhang 4 noch einmal zusammenfassend dargestellt.

Die Selbstversorgungsgrade der vier Planungsregionen weisen in allen Bedarfsarten trotz allgemein steigender Tendenz unterschiedliche Charakteristika auf.

Eine regenerative Vollversorgung mit Wärme stellt sich als große Herausforderung dar. Außer in Ostthüringen (bis 2018) liegt die regenerative Selbstversorgung im Wärmebereich prozentual stets unter der regenerativen Stromversorgung. Auch hierbei nimmt Nordthüringen sowohl im Jahr 2010 mit 20 Prozent als auch im Jahr 2050 mit 60 Prozent eine Vorreiterrolle ein. In Südwest- und Mittelthüringen steigt der Selbstversorgungsgrad annähernd linear, in Ostthüringen hingegen ist nur eine schwache Zunahme von 37 Prozent auf 40 Prozent im Jahr 2050 zu verzeichnen. Dies wird durch einen vergleichsweise großen Istwert sowie durch einen relativ hohen Anteil an gewerblich genutzten Flächen in der Region Ostthüringen und dem damit geringen Einfluss der Sanierungsraten, welche eine Abnahme des Wärmebedarfes zur Folge hätte, verursacht.

Im Vergleich zu den anderen Bereichen nimmt der Bereich Strom in allen Regionen ab spätestens 2020 die größten Selbstversorgungsgrade an. Besonders auffällig ist mit großer Abweichung zum gesamthüringischen Wert die volle Selbstversorgung in Nordthüringen ab 2030 schon im Referenzszenario. Die Regionen Ost- und Südwestthüringen weisen hier in allen Zeitschnitten die geringste Selbstversorgung auf.

Der Selbstversorgungsgrad im Treibstoffbereich ist in allen Regionen und Zeitschnitten der geringste: Südwestthüringen weist hierbei mit 3 Prozent im Jahr 2020 den kleinsten Wert, Nordthüringen mit 8 Prozent den größten Wert auf. Die Zunahme gestaltet sich in der Region Nordthüringen mit einem im Jahr 2050 erreichten Wert von 33 Prozent am stärksten.

Die exponierte Stellung der Region Nordthüringen resultiert zum Einen aus den sinkendem Bedarf in allen Bedarfsbereichen, welche im Wesentlichen durch die geringe Bevölkerungsdichte und zusätzlich einen hohen Bevölkerungsrückgang verursacht werden und zum Anderen durch die im Vergleich mit den anderen Planungsregionen größte ausgewiesene Vorrangfläche zur Nutzung der Windenergie.

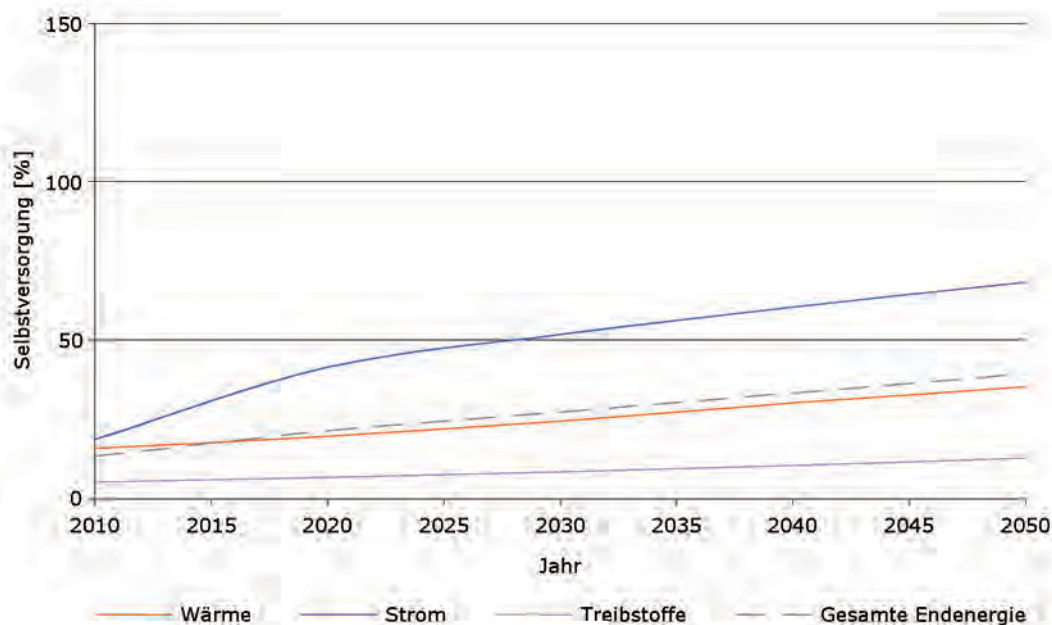


Abb. 64 Entwicklung der regenerativen Selbstversorgungsgrade in der Planungsregion Mittelthüringen im Referenzszenario (eigene Darstellung).



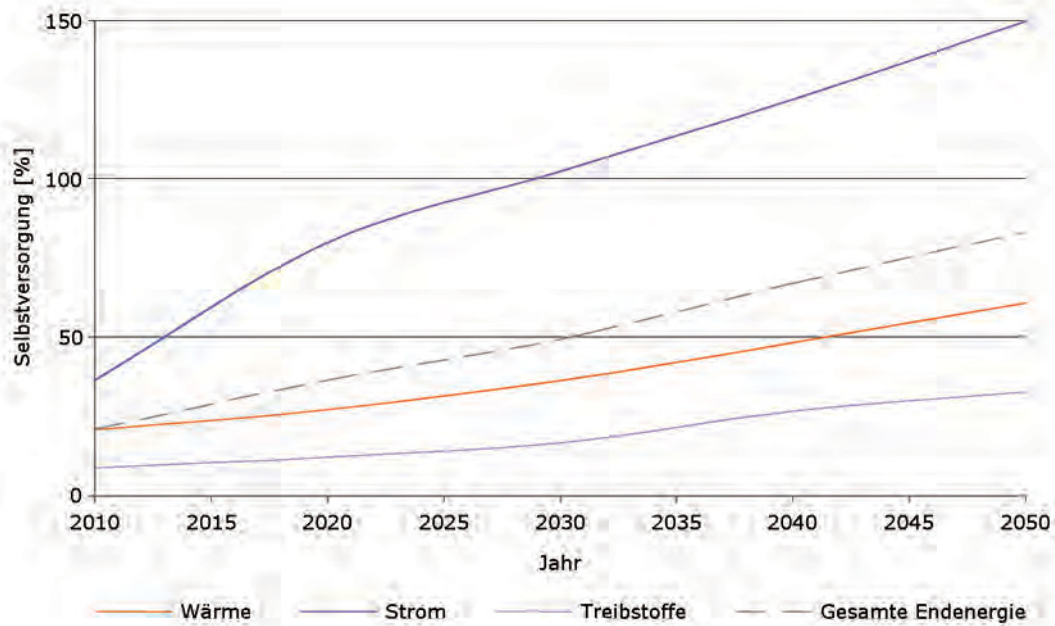


Abb. 65 Entwicklung der regenerativen Selbstversorgungsgrade in der Planungsregion Nordthüringen im Referenzszenario (eigene Darstellung).

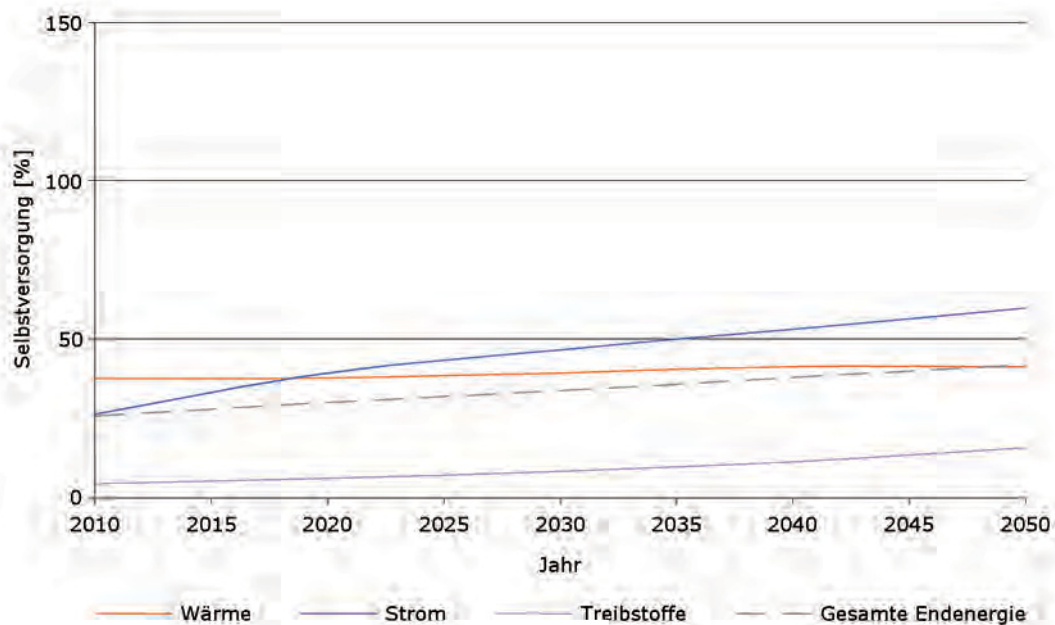


Abb. 66 Entwicklung der regenerativen Selbstversorgungsgrade in der Planungsregion Ostthüringen im Referenzszenario (eigene Darstellung).

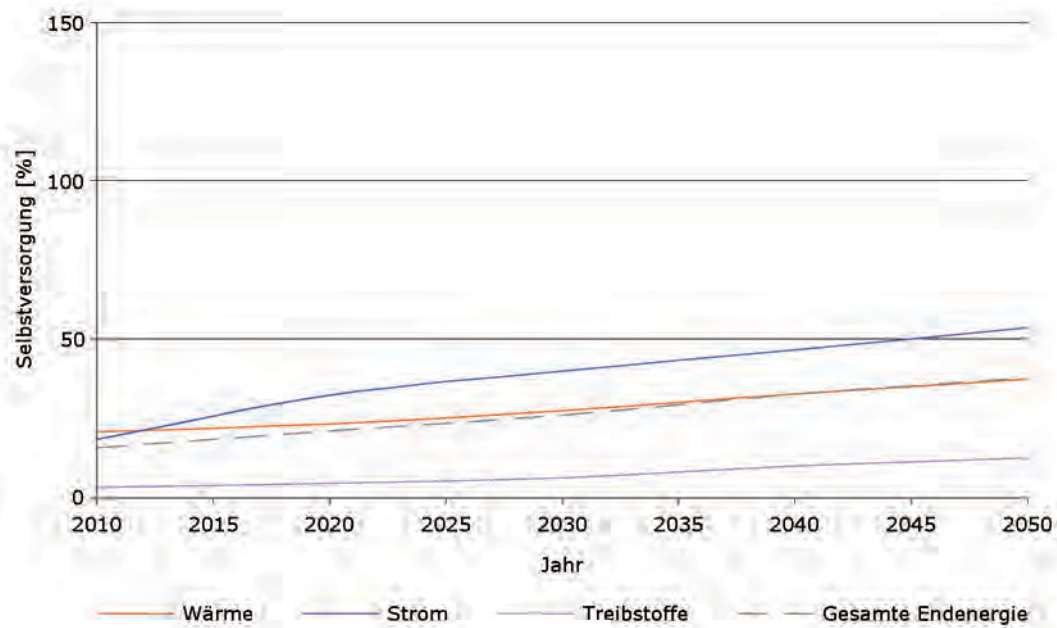


Abb. 67 Entwicklung der regenerativen Selbstversorgungsgrade in der Planungsregion Südwestthüringen im Referenzszenario (eigene Darstellung).

## 8 Regional-ökonomische Effekte

In den bisherigen Kapiteln dieser Studie konnte aufgezeigt werden, dass in allen Regionen, Landkreisen und Gemeinden Thüringens erhebliche Ausbaupotenziale bei der Nutzung erneuerbarer Energien bestehen.

Abschließend soll der Frage nachgegangen werden, welche wirtschaftlichen Impulse aus einem Ausbau der erneuerbaren Energien resultieren können. Dabei wird neben der monetären Wertschöpfung auch auf mögliche Arbeitsplatzeffekte eingegangen.

Die Betrachtung erfolgt auf Landkreisebene. Da eine Prognose wirtschaftlicher Effekte von einer Vielzahl von Einflussgrößen abhängt, beschränkt sich die Betrachtung auf den vergleichsweise kurzen Zeitraum bis zum Jahr 2020. Ferner wird nur das Referenzszenario betrachtet. Schließlich ist bei der Bewertung der Ergebnisse zu beachten, dass es sich hierbei um sogenannte Bruttoeffekte handelt, die aus dem Zubau an entsprechenden Anlagen resultieren. Es wird also nicht betrachtet, ob und inwieweit ein Ausbau regenerativer Energien zu einem Verlust an Arbeitsplätzen in anderen Bereichen führt oder es zu Umverteilungen von Arbeitsplätzen kommt. Ebenso wenig werden zusätzliche Effekte aus der Erneuerung von regenerativen Anlagen betrachtet, also etwa der Austausch einer alten Holzfeuerungsanlage gegen eine neue Anlage, da sich hieraus in der Regel keine zusätzlichen Impulse für die regionalen Wirtschaftskreisläufe ergeben. Für die Betrachtung der regional-ökonomischen Effekte wurde auf das vom Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) in Berlin und dem Zentrum für erneuerbare Energien der Universität Freiburg entwickelte Modell zur Ermittlung der kommunalen Wertschöpfung zurückgegriffen. Die Methodik und ihre Anwendung ist in der Veröffentlichung „Kommunale Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien“ (Hirschl 2010), ausführlich dargestellt. Im Folgenden sollen daher nur die wesentlichen methodischen Grundlagen zusammengefasst werden, für eine ausführliche Beschreibung sei auf die genannte Veröffentlichung verwiesen.

### 8.1 Methodische Grundlagen

Im Rahmen dieser Untersuchung werden die ökonomischen Effekte des Ausbaus der regenerativen Energien auf Ebene der thüringischen Landkreise betrachtet. Dabei werden folgende ökonomischen Kenngrößen verwendet, die insbesondere aus kommunaler Sicht von Bedeutung sind:

- erzielte Gewinne (nach Steuern) beteiligter Unternehmen,
- Nettoeinkommen der beteiligten Beschäftigten und
- die auf Basis der betrachteten Wertschöpfungsschritte gezahlten Steuern.

Bei Letzteren stehen bei dieser Betrachtung insbesondere die Gewerbesteuer auf die Unternehmensgewinne sowie die Steuern auf die Einkommen, von denen die Kommunen zumindest anteilig profitieren. Zusätzlich wird auch die Umsatzsteuer betrachtet.

Grundlage für die Ermittlung der technologiespezifischen Wertschöpfung bilden die Umsätze bezogen auf die installierte Leistung (in Kilowatt) oder (bei der Solarthermie) die installierte Kollektorfläche. Dabei wird die gesamte Wertschöpfung auf folgende 4 Stufen aufgeteilt:

1. Investition (Produktion von Anlagen und Anlagenkomponenten)
2. Planung, Installation, teilweise Grundstückskauf, Investitionsnebenkosten, etc.,
3. Betriebsführung (Wartung, Instandhaltung, teilweise Pacht etc.),
4. Betreibergesellschaft (finanzielle Betriebsführung).

Während es sich bei den Stufen 1 und 2 um einmalige Effekte handelt, beschreiben die Stufen 3 und 4 jährliche Effekte, die sich aus dem beim laufenden Anlagenbetrieb ergeben.

Zur Erfassung der für die Stufen 1 und 2 maßgeblichen Investitionen wird auf mittlere Investitionskosten der einzelnen Technologien im Bezugsjahr 2010 zurückgegriffen.

Die Wertschöpfungseffekte aus dem laufenden Anlagenbetrieb der Stufen 3 und 4 ergeben sich u.a. aus der Anlagenwartung oder dem Austausch von Anlagenkomponenten.

Aufbauend auf der derart ermittelten Umsatzstruktur in den Wertschöpfungsketten der einzelnen Technologien werden die Gewinne, die Einkommenseffekte und die Steuern bestimmt. Die Berechnung der jeweiligen Einkommenseffekte basiert auf den ermittelten Umsätzen je Stufe. Im Fall von Stufen mit Produktionsanteil erfolgt die Ermittlung der Einkommen über die statistischen Kenngrößen „Beschäftigte pro Umsatz“ sowie die „Bruttojahreseinkommen relevanter Berufsgruppen“. Bei Dienstleistungen, etwa im Bereich der Anlagenplanung, werden statistische Daten zur Ermittlung der Einkommenseffekte herangezogen.

Aus den zuvor ermittelten Werten werden die kommunalen Steuern ermittelt, bei denen die Gewerbesteuer die wichtigste Steuerquelle darstellt. Zusätzlich wird der kommunale Anteil an der Einkommensteuer der sozialversicherungspflichtigen Arbeitnehmer und an der veranlagten Einkommenssteuer, die aus dem Gewinnanteil der Gesellschafter von Personenunternehmen resultiert, in die Betrachtungen einbezogen. Im Gegensatz zu diesen Hauptsteuerquellen spielt die Umsatzsteuer nur in solchen Fällen eine Rolle, bei denen der Betreiber keine Gewinnerzielungsabsicht hat bzw. bei der kein unternehmerischer Hintergrund vorliegt, also etwa im Bereich der privaten Holzfeuerungen oder solarthermischen Anlagen. Alle anderen Steuern fallen nicht bei den Kommunen an bzw. können aufgrund der Umlagemechanismen zwischen Bund, Land und Kommune nicht mehr mit den erneuerbaren Energien in Verbindung gebracht werden (Hirschl, 2010).

Über das hier nur kurz zusammengefasst dargestellte IÖW-Modell ergeben sich für jede Technologielinie entsprechende Ausgangsdatentabellen, mit denen dann die Wertschöpfung auf den einzelnen Stufen ermittelt werden kann. Tabelle 32 zeigt dies am Beispiel der Photovoltaik.

Mithilfe der in dieser Tabelle zusammengefassten spezifischen Ansätze lassen sich die aus dem Zubau an regenerativen Energieanlagen (hier am Beispiel der PV-Großanlagen auf Dachflächen) ergebenden ökonomischen Effekte in den einzelnen Landkreisen errechnen.

**Tab. 32 Kommunale Wertschöpfung aus der Nutzung von PV-Großanlagen (Dach) nach dem Modell des IÖW (Hirschl 2010).**

| Wertschöpfungsstufe                                   | Nach-<br>Steuer-Gewinn | Nettobeschäf-<br>tigung | Gewerbesteuer<br>(netto) | Kommunal-<br>anteil an der<br>Einkommen-<br>steuer | Wertschöpfung<br>gesamt |
|---|------------------------|-------------------------|--------------------------|--|-------------------------|
| €/kW  |                        |                         |                          |  |                         |
| <b>Einmalige Effekte</b>                              |                        |                         |                          |  |                         |
| Investition   | 111                    | 322                     | 19                       | 19   | 472                     |
| Planung, Installation etc.                            | 41                     | 244                     | 7                        | 13   | 304                     |
| <b>Jährliche Effekte (Werte auf volle € gerundet)</b> |                        |                         |                          |  |                         |
| Technische<br>Betriebsführung                         | 10                     | 11                      | 1                        | 1  | 23                      |
| Betreibergesellschaft                                 | 74                     | 8                       | 12                       | 3  | 97                      |
| <b>Jährliche Effekte über 20 Jahre</b>                |                        |                         |                          |  |                         |
| Technische<br>Betriebsführung                         | 205                    | 214                     | 23                       | 14   | 455                     |
| Betreibergesellschaft                                 | 1.481                  | 164                     | 239                      | 56   | 1.940                   |

## 8.2 Betrachtete Technologielinien

Die im vorangehenden Abschnitt skizzierte Methodik wird auf folgende Technologielinien angewendet. Dabei wird zum Teil zwischen Klein- und Großanlagen unterschieden.

Tabelle 33 fasst die betrachteten Technologielinien und die jeweils erfassten Leistungsbereiche zusammen.

Nicht betrachtet werden:

- Wasserkraftanlagen: die Erfassung der Wasserkraftpotenziale hat ergeben, dass in Thüringen im Wesentlichen nur Ausbaumöglichkeiten für bestehende Wasserkraftanlagen bestehen. Diese Erweiterungsmöglichkeiten sind aber sehr standortspezifisch und lassen sich daher mit dem hier genutzten Modell nicht abbilden.
- Tiefengeothermie: die Nutzung der Tiefengeothermie erfolgt derzeit in Deutschland nur an wenigen Standorten. Damit liegen zu wenige belastbare Daten für das hier benutzte Modell vor.
- Große Biomasseheizkraftwerke: Die angestellten Betrachtungen beschränken sich auf mittlere Biomasseheiz- bzw. -heizkraftwerke. Anlagen mit thermischen Leistungen oberhalb 5 Megawatt haben einen relativ großen Brennstoffbedarf, der sich in der Regel nicht aus den verfügbaren Quellen eines Landkreises decken lässt. Entsprechend würden derartige Projekte auf die Ressourcen mehrerer Landkreise zugreifen, damit würde eine Bündelung der Wertschöpfung in einem Landkreis zulasten der Nachbarkreise erfolgen.

**Tab. 33      Betrachtete Technologielinien und die jeweils erfassten Leistungsbereiche.**

| Technologieline | Differenzierungskriterien   |
|-----------------|---|
| Windkraft       | Onshore, Zubau und Repowering   |
| Photovoltaik    | Kleinanlagen Dach (<250 kW)<br>Großanlagen Dach (>250 kW)<br>Freiflächenanlagen (auf Brachflächen)    |
| Solarthermie    | Kleinanlagen (< 20m <sup>2</sup> Kollektorfläche)<br>Großanlagen (> 20m <sup>2</sup> Kollektorfläche) |
| Geothermie      | Wärmepumpen   |
| Biogas          | Kleine Anlagen (< 1.000kW elektrische Leistung)<br>Großanlagen (> 1.000kW elektrische Leistung)       |
| Biomasse        | Kleinanlagen (< 100kW thermische Leistung)<br>Großanlagen (> 100kW, < 5.000kW thermische Leistung)    |
| Biokraftstoffe  | Pflanzenöl, Bioethanol, Biodiesel   |

### 8.3      Grenzen des Modellansatzes

Das hier angewendete Modell zur Berechnung der kommunalen Wertschöpfung des IÖW's erlaubt eine sehr differenzierte Betrachtung der ökonomischen Effekte auf den einzelnen Wertschöpfungsstufen. Bevor nachfolgend die Ergebnisse für die einzelnen Landkreise Thüringens dargestellt werden, soll an dieser Stelle eine Betrachtung der Grenzen des gewählten Modellansatzes erfolgen, auch um eine Fehlinterpretation der Einzelergebnisse zu vermeiden:

- **Betrachtungsumfang:** Mithilfe des Modellansatzes wird nur der Zubau an Anlagen erfasst, da sich nur hieraus ein zusätzlicher Effekt ergibt. Wertschöpfungen aus dem Austausch von Anlagen führen zunächst dagegen nicht zu einer Erhöhung der regionalen Wertschöpfung. Eine Ausnahme stellt das Repowering von Windkraftanlagen dar, da durch den Austausch alter gegen leistungsfähigere neue Anlagen eine erhebliche Effizienzsteigerung erreicht werden kann. Entsprechend wird das Repowering mit einem eigenen Bewertungsansatz im Modell berücksichtigt.
- **Bruttobetrachtung:** Es werden ausschließlich Bruttoeffekte erfasst. In Einzelfällen wird der Einsatz regenerativer Energien zu einer Verdrängung konventioneller Technologien führen, etwa beim Ersatz einer Gas- oder Ölheizung durch eine Holzheizung. Die sich aus diesen Verdrängungseffekten ergebenden Auswirkungen auf die Wertschöpfung (einer Erhöhung im regenerativen Segment steht eine Verringerung im konventionellen Bereich gegenüber) lassen sich im Rahmen dieser Untersuchung nicht erfassen.
- **Datengrundlagen:** Die in das Modell einfließenden ökonomischen Grunddaten basieren auf der Betrachtung des Ist-Zustands im Jahr 2010. Im Gegensatz zu anderen Modellen lassen sich hier Veränderungen der Grunddaten, also etwa Kostendegressionen im Bereich der Technologielinien, aber auch Kostensteigerungen, etwa im Bereich der Beschäftigteneinkommen, eine veränderte Steuerpolitik etc. nicht abbilden. Damit handelt es sich um eine statische Betrachtung.
- **Betrachtungszeitraum:** Als Folge der statischen Betrachtung ist das hier gewählte Modell nicht geeignet, Langfristprognosen abzugeben. Aus diesem Grund wird die Betrachtung auf den Zeitraum 2010-2020 begrenzt.
- **Technologiebegrenzungen:** Zunächst können nur Technologien betrachtet werden, die heute bereits am Markt etabliert sind. Neue Technologielinien, für die keine ausreichende Datenbasis verfügbar ist (hier die Tiefengeothermie), lassen sich nicht in das Modell integrieren. Auch technologische Weiterentwicklungen, z. B. neuartige Werkstoffe in der PV-Industrie, können in das Modell nicht eingebunden werden.

Auch Effizienzsteigerungen, die sich aus der technologischen Weiterentwicklung ergeben, werden – mit Ausnahme des Repowerings im Windkraftbereich – nicht erfasst.

- **Ökonomische Begrenzungen:** Die Berechnungen der wirtschaftlichen Auswirkungen erfolgen über Eingangstabellen. Um eine überschaubare Anzahl an Berechnungstabellen zu erhalten, ist es erforderlich, die einzelnen Technologielineen in eine begrenzte Zahl an Leistungsklassen einzuteilen. Dies erfolgt in der Regel in zwei Leistungsklassen „klein“ und „groß“. Nachteilig ist, dass alle in den jeweiligen Klassen betrachteten Anlagen mit einem einheitlichen, mittleren Kostenansatz bewertet werden. Die in der Praxis oft auftretende starke Kostendegression bei wachsender Anlagenleistung lässt sich in diesem Modell nicht umsetzen.
- **Begrenzung des Modellansatzes:** Das verwendete Modell betrachtet nur die mit der Errichtung und dem Betrieb der Anlage verbundenen ökonomischen Effekte. Zusätzliche Impulse, die beispielsweise durch die Errichtung von Wärmenetzen entstehen, lassen sich nicht abbilden. Berücksichtigt man, dass beispielsweise im Bereich der Bioenergie der Bau eines Wärmenetzes nahezu die gleichen investiven Aufwendungen erfordert, wie die Errichtung der eigentlichen Erzeugungsanlage, so ergeben sich zum Teil deutlich höhere lokale Effekte.

Zusammengefasst erlaubt das Modell einen relativ einfach nachvollziehbaren vergleichenden Überblick über die Bruttowirkungen des Ausbaus der regenerativen Energien in den Landkreisen Thüringens. Die Bewertung von Einzeldaten sollte dagegen aufgrund der dargestellten notwendigen Vereinfachungen mit Vorsicht vorgenommen werden, um Fehlinterpretationen zu vermeiden.

## **8.4 Ökonomische Effekte**

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Analyse der wirtschaftlichen Effekte eines beschleunigten Ausbaus der regenerativen Energien in Thüringen bis zum Jahr 2020 zusammengefasst dargestellt. Zur verbesserten Übersichtlichkeit erfolgt die Ergebnisdarstellung getrennt nach einmaligen (Abschnitt 8.4.1) und jährlichen Effekten (Abschnitt 8.4.2). Ferner werden die Landkreise in der grafischen Darstellung nach ihrer Zugehörigkeit zu den einzelnen Planungsregionen zusammengefasst.

### **8.4.1 Einmalige Wertschöpfungseffekte**

Die Ergebnisse der Modellrechnungen, die in den Abbildungen 68 bis 71 dargestellt sind, zeigen, dass sich selbst unter dem im Referenzszenario formulierten moderaten Ausbau der erneuerbaren Energien in allen Landkreisen Thüringens erhebliche ökonomische Einmaleffekte ergeben, die sich im Betrachtungszeitraum bis 2020 auf insgesamt rund 1,26 Mrd. Euro belaufen. Davon entfallen auf den Ausbau der Photovoltaik etwa 43 Prozent, weitere 40 Prozent der Wertschöpfung steuert der Ausbau bzw. das Repowering der Windenergie bei.

Dabei liegen die Gesamteffekte in den Flächenlandkreisen zwischen 42 und 127 Mio. Euro in der betrachteten Dekade. Besonders hoch sind die Effekte in den Landkreisen, in denen ein hohes Windenergiepotenzial besteht bzw. sich Möglichkeiten zum Repowering bestehender Windkraftanlagen in größerem Umfang ergeben (etwa Kyffhäuserkreis). Aber auch die Photovoltaik-Kleinanlagen tragen maßgeblich zur Bruttowertschöpfung bei, besonders ausgeprägt im Südwesten Thüringens. Relativ gering sind dagegen die einmaligen Effekte aus dem Ausbau der Bioenergienutzung. Hierzu trägt die Tatsache bei, dass die Zubaupotenziale der Bioenergie deutlich geringer sind als die der Windenergie.



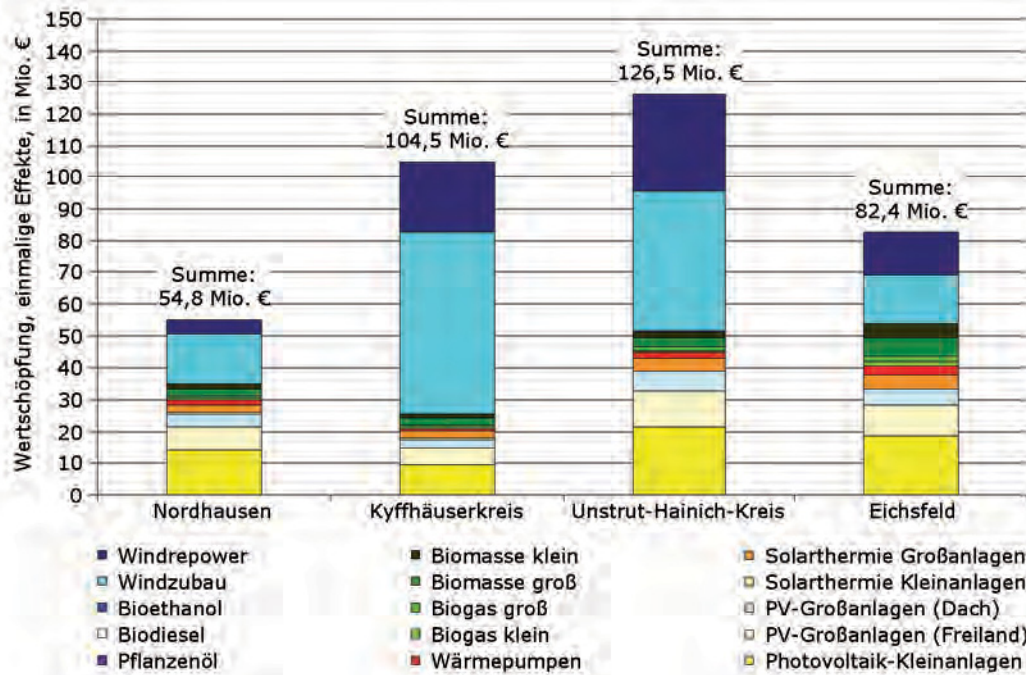


Abb. 68 Regionalökonomische einmalige Effekte beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Nordthüringen (Hirschl 2010, eigene Berechnungen).

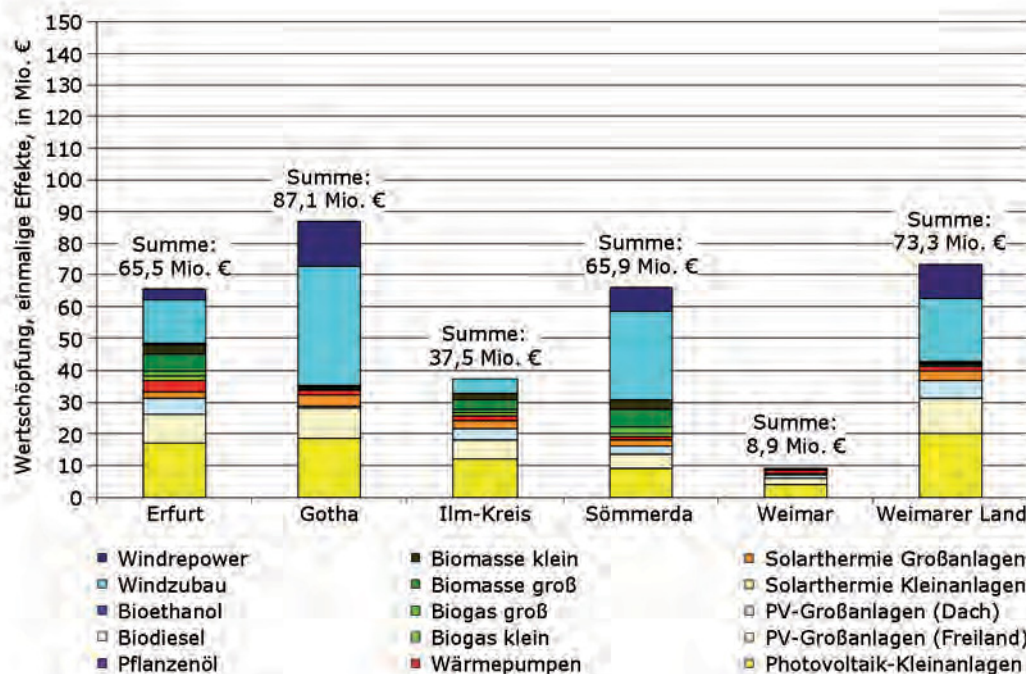


Abb. 69 Regionalökonomische einmalige Effekte beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Mittelthüringen (Hirschl 2010, eigene Berechnungen).

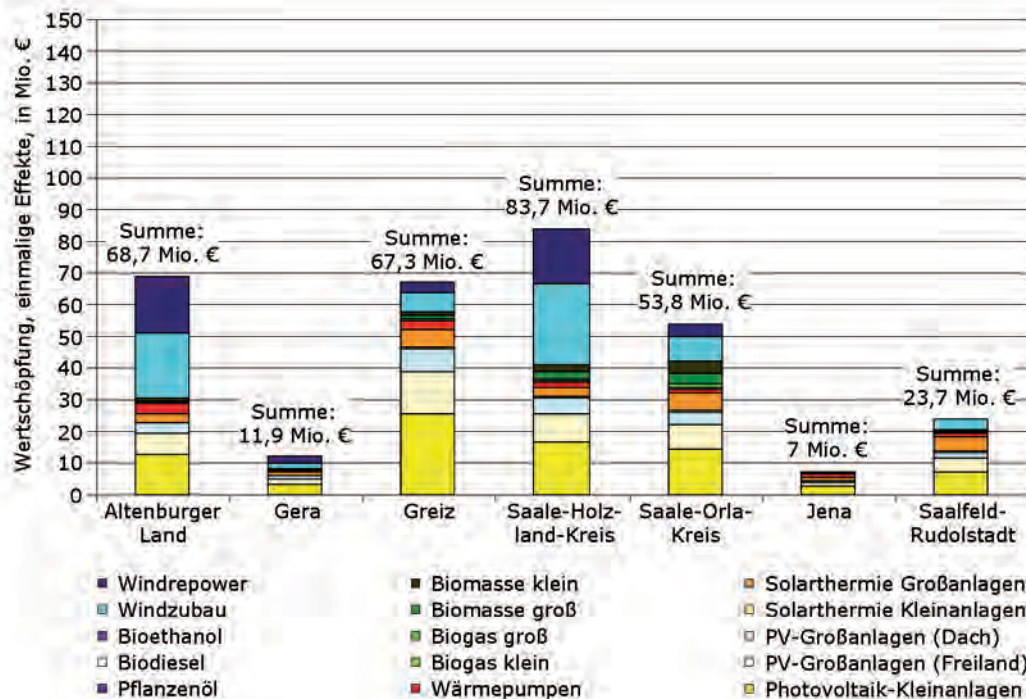


Abb. 70 Regionalökonomische einmalige Effekte beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Ostthüringen (Hirschl 2010, eigene Berechnungen).

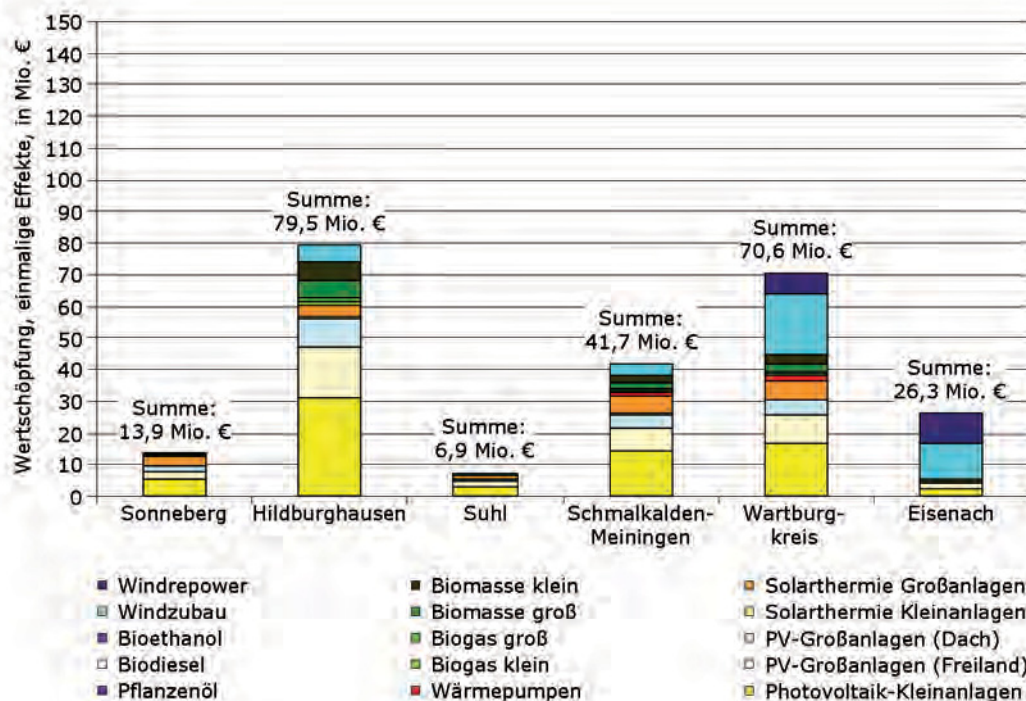


Abb. 71 Regionalökonomische einmalige Effekte beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Südwestthüringen (Hirschl 2010, eigene Berechnungen).

Der vergleichsweise große Anteil, den die größeren Biomasseheiz- bzw. -heizkraftwerke beisteuern, ist auf die im Betrachtungszeitraum einsetzende energetische Strohnutzung zurückzuführen.

Einschränkend muss allerdings darauf verwiesen werden, dass ein Großteil der investiven Effekte zurzeit nicht in den Landkreisen verbleibt, sondern an die Standorte der jeweiligen Anlagenhersteller abfließt. In der Region bzw. im Landkreis verbleiben vornehmlich die Anteile aus den begleitenden Dienstleistungen, also beispielsweise der Planung etc. Diese machen je nach Technologie 30 bis 50 Prozent der hier erfassten Bruttowertschöpfung aus.

Aus wirtschaftspolitischer Sicht ist es daher erstrebenswert, in den Regionen Thüringens neue Unternehmen anzusiedeln, die die Fertigungstiefe im Bereich der regenerativen Energien im Freistaat erhöhen. Eine Vernetzung dieser Unternehmen mit Firmen, die bereits heute in Thüringen Komponenten oder Teile für regenerative Energieanlagen fertigen (wie etwa Wärmetauscher), würde die Gefahr des Abflusses der vorstehend dargestellten einmaligen Wertschöpfungseffekte aus Thüringen hinaus verringern. Vorbild für diese Entwicklung kann dafür die Photovoltaikindustrie sein. Hier hat sich in den vergangenen Jahren ein starker Unternehmensverbund in Form des Thüringer Solarclusters ausgebildet. Im Bioenergiebereich bestehen derartige Netzwerke bisher nur auf regionaler Ebene, etwa in Form des Biogasnetzwerks Nordthüringen. Hervorzuheben ist aber hier die beginnende landesweite Vernetzung der Akteure über das Netzwerk Biobeth. Defizite bestehen in Thüringen insbesondere im Windenergiebereich, hier sind derzeit nur wenige Unternehmen aktiv, die Komponenten herstellen.

Mit der Gründung der Thüringer Greentech-Agentur im Jahr 2010 ist ein wichtiger Schritt getan, den Auf- und Ausbau derartiger Unternehmensnetzwerke zu fördern. In Verbindung mit einer sehr aktiven Forschungslandschaft an den Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen im Bereich der erneuerbaren Energien besitzt Thüringen auch im Forschungs- und Entwicklungsbereich ein großes Potenzial, das von Unternehmen genutzt werden kann.

#### **8.4.2 Jährliche Wertschöpfungseffekte**

Während die Höhe der einmaligen Effekte stark durch die Anlageninvestitionen bestimmt wird, von denen derzeit ein größerer Teil den Standorten der jeweiligen Anlagenhersteller zufallen würde, verbleibt die Wertschöpfung aus dem Anlagenbetrieb zum überwiegenden Teil in den Landkreisen bzw. in der Region. Allerdings bestehen auch hier technologische Unterschiede. Während beispielsweise Wartung und Instandhaltung von Windkraftanlagen durch spezialisierte Unternehmen durchgeführt werden, die auch zukünftig nicht in jedem Landkreis angesiedelt sein werden, übernehmen örtliche Installationsbetriebe die Wartung von Kleinfeuerungen, Wärmepumpen und Solaranlagen. Damit bieten diese Technologien die höchsten lokalen Effekte. Da eine Bewertung der unternehmensspezifischen Kriterien einer Standortwahl im Rahmen dieser Studie nicht erfolgen kann, werden die jährlichen Wertschöpfungseffekte den Landkreisen zugeordnet, in denen die jeweiligen Anlagen installiert sind.

Wie die Abbildungen 72 bis 75 zeigen, ist die jährliche Wertschöpfung aus dem Anlagenbetrieb durchaus beachtlich. Sie beträgt für Gesamtthüringen rund 180 Mio. Euro. Allerdings ergeben sich deutliche regionale Unterschiede: so werden in den Flächenlandkreisen Nordthüringens die höchsten jährlichen Wertschöpfungseffekte von bis zu ca. 17 Mio. Euro pro Jahr erzielt, die vorrangig auf die großen Potenziale im Windenergiebereich (Repowering und Zubau) zurückzuführen sind. Auch in den meisten anderen Landkreisen trägt die Windenergie zum überwiegenden Teil zur jährlichen Wertschöpfung bei.

Die Unterschiede sind allerdings nicht allein auf die unterschiedlichen Ausbaupotenziale für die verschiedenen regenerativen Energieträger zurückzuführen. Vielmehr bestehen zwischen den einzelnen Technologien auch große Unterschiede im Wartungsaufwand bzw. dem für eine regelmäßige Instandhaltung erforderlichen Personaleinsatz. So beträgt nach Untersuchungen von Lehr (2011) der Personaleinsatz für Wartung und Instandhaltung im Windenergiebereich rund 1/5 der Gesamtbeschäftigtenzahl, in der Photovoltaikbranche liegt der Anteil dagegen nur bei rund 5 Prozent. Besonders hohe Wartungs- und Instandhaltungsanteile weisen Biomasseanlagen auf, hier ist in der Regel Betriebspersonal für den regulären Anlagenbetrieb erforderlich. Folglich sind im Bereich des Anlagenservices und des Anlagenbetriebs rund 50 Prozent mehr Personen beschäftigt als im eigentlichen Anlagenbau.



Die jährlichen ökonomischen Effekte hängen von einer Vielzahl von Einflussgrößen ab. Entsprechend heterogen ist das Ergebnis der Analyse auf Landkreisebene. Während in Nordthüringen die jährliche Wertschöpfung durch das große Ausbaupotenzial bei der Windkraftnutzung dominiert wird, nimmt dieser Anteil von Nord nach Süd ab: beträgt der Anteil in Nordthüringen rund 50 Prozent der gesamten jährlichen Wertschöpfung, so liegt er in Südwestthüringen bei lediglich rund 30 Prozent. Im Gegenzug erhöhen sich die Effekte aus der Wartung und dem Betrieb von Photovoltaikanlagen spürbar und betragen in Südwestthüringen bis zu 50 Prozent der gesamten jährlichen Wertschöpfung. Der hohe Personaleinsatz im Biomassebereich führt dazu, dass die Biomassenutzung in Heizwerken und Heizkraftwerken einen wichtigen Beitrag zur jährlichen Wertschöpfung liefert, der in allen Regionen bei etwa 20 Prozent liegt. Hierbei ist aber wieder zu berücksichtigen, dass die dem Berechnungsmodell zugrunde liegenden Potenzialdaten von einer verstärkten Strohnutzung in den nächsten 10 Jahren ausgehen, die zu diesem Effekt maßgeblich beiträgt. In den kreisfreien Städten (Jena, Weimar, Suhl) sind die Beiträge der freiflächengebundenen Technologien zwangsläufig klein bzw. nicht vorhanden. Hier stützt sich die Wertschöpfung auf Kleinanlagen im Photovoltaik- und solarthermischen Bereich sowie auf die Wärmepumpen.

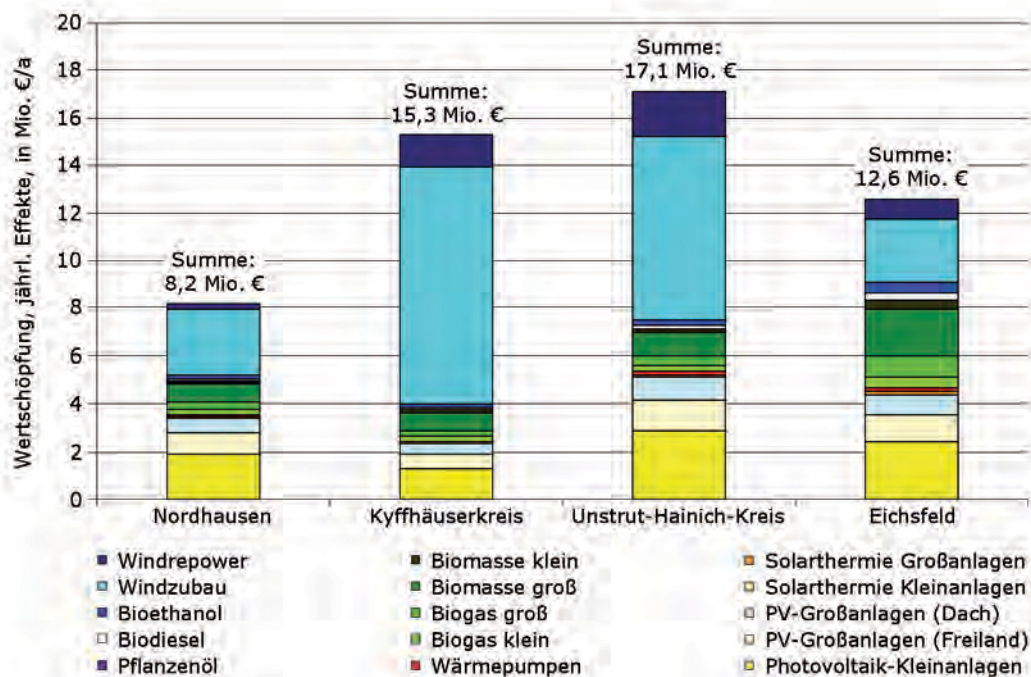


Abb. 72 Regionalökonomische jährliche Effekte beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Nordthüringen (Hirschl 2010, eigene Berechnungen).

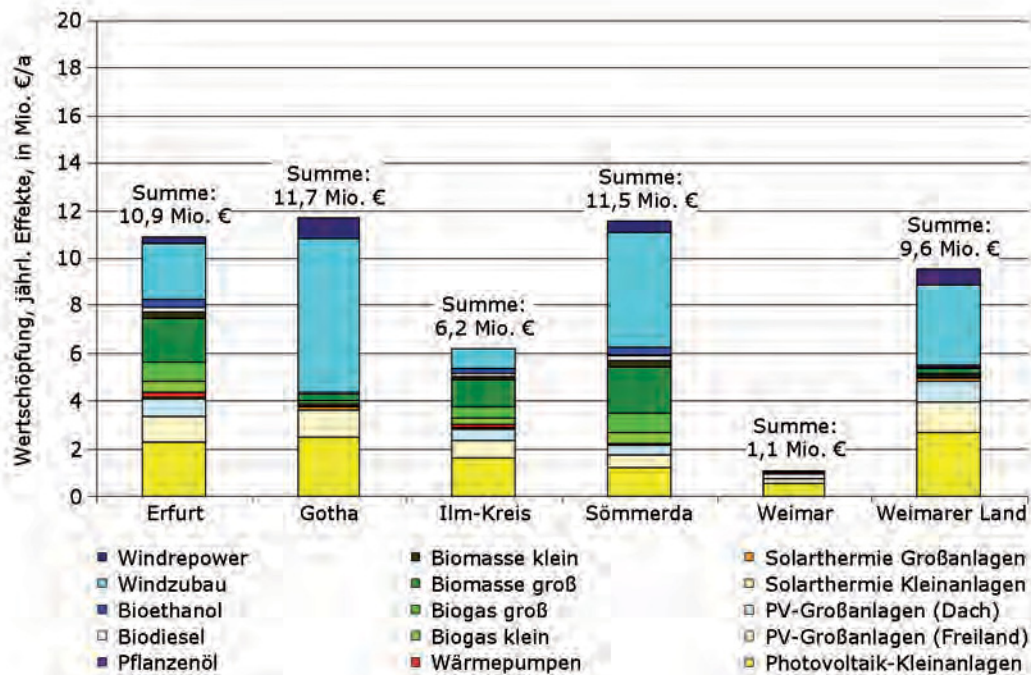


Abb. 73 Regionalökonomische jährliche Effekte beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Mittelthüringen (Hirschl 2010, eigene Berechnungen).

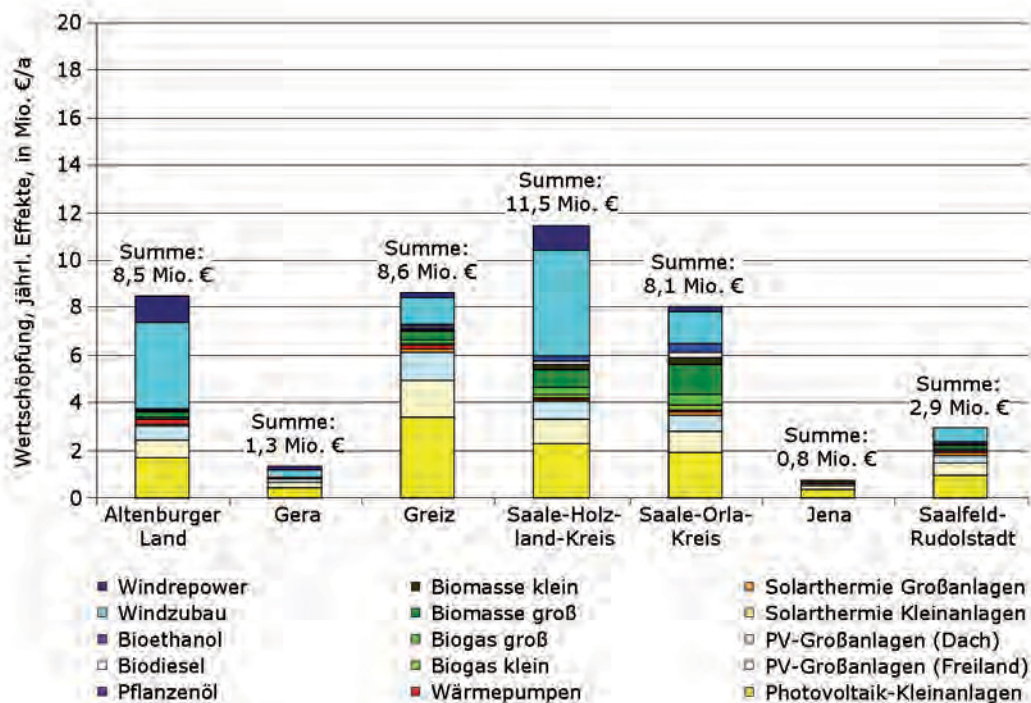


Abb. 74 Regionalökonomische jährliche Effekte beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Ostthüringen (Hirschl 2010, eigene Berechnungen).

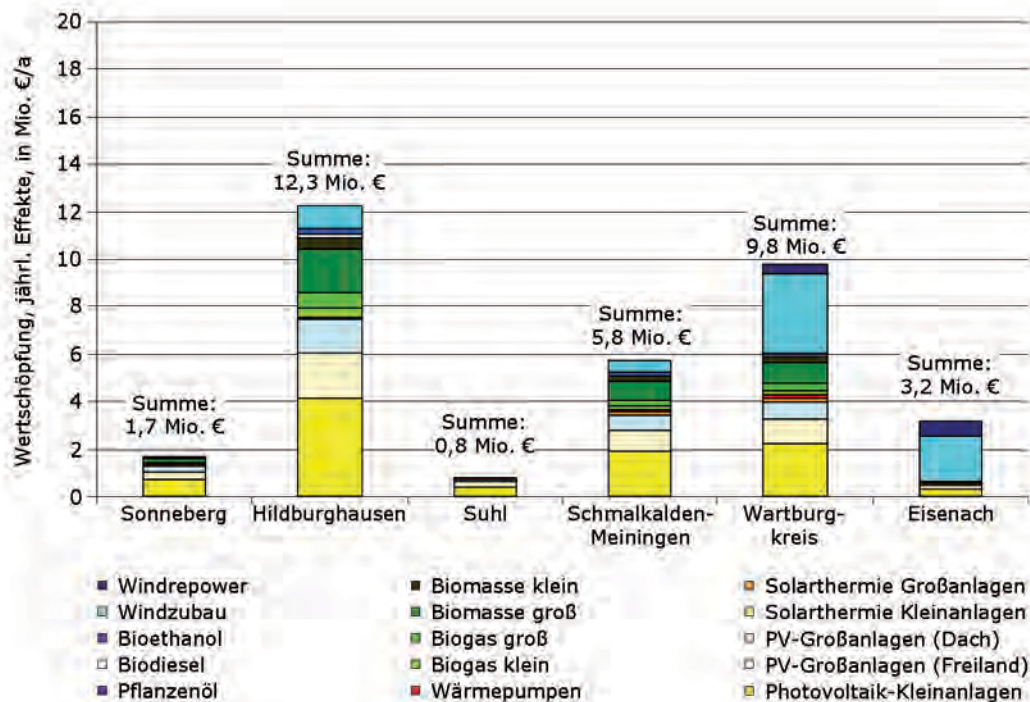


Abb. 75 Regionalökonomische jährliche Effekte beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Südwestthüringen (Hirschl 2010, eigene Berechnungen).

## 8.5 Arbeitsplatzeffekte

Neben der Frage nach der Wertschöpfung, die sich in den Landkreisen und Regionen Thüringens durch den Ausbau der erneuerbaren Energien ergibt, ist natürlich auch die Frage nach den sich daraus ergebenden Perspektiven für den Arbeitsmarkt von Interesse. Ähnlich wie bei der Bewertung der Wertschöpfung ist die Frage nach den Auswirkungen des Ausbaus regenerativer Energien auf den Arbeitsmarkt sehr komplex. Bundesweit wurden zu diesem Thema bereits verschiedene Studien erarbeitet, die zum Teil zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen kommen. So rechnet der Bundesverband Erneuerbare Energien (BEE) mit einem weiteren Anstieg der Beschäftigtenzahl bundesweit bis zum Jahr 2020 gegenüber dem Jahr 2009 um 83 Prozent (AEE-BEE 2009). Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geht dagegen davon aus, dass es auch in den Branchen der erneuerbaren Energien zu Rationalisierungseffekten kommen wird und geht für den gleichen Zeitraum von einem leichten Rückgang der Gesamtbeschäftigtenzahlen um 13 Prozent aus (BMU 2006a).

Wie bei der Bewertung der ökonomischen Effekte handelt es sich bei den im Folgenden dargestellten Ergebnissen um Bruttoeffekte. Es wird also nicht betrachtet, inwieweit der Ausbau erneuerbarer Energien zu einem Verlust an Arbeitsplätzen in anderen Sektoren der thüringischen Wirtschaft führt bzw. inwieweit es zu „Umschichtungen“ kommt, dass also etwa Installationsbetriebe mehr Arbeitskräfte im Bereich regenerativer Technologien beschäftigen, gleichzeitig aber der Beschäftigtenanteil im Bereich der konventionellen Technologien zurückgeht. Derartige Verschiebungen im Arbeitsmarkt lassen sich mit den im Rahmen dieser Studie verwendeten Methoden nicht abbilden. Daher müssen die nachstehend dargestellten Ergebnisse mit Vorsicht interpretiert werden, um Fehleinschätzungen zu vermeiden.

Um die Bruttoarbeitsplatzeffekte bestimmen zu können, wurde auf die Grunddaten von Lehr (2011) zurückgegriffen. In dieser Arbeit wurde eine detaillierte, auf Unternehmensdaten fußende Analyse der Beschäftigungseffekte vorgenommen. Diese nach den einzelnen Branchen der regenerativen Energietechnik differenzierte Betrachtung der Arbeitsplatzentwicklung bis zum Jahr 2020 ermöglicht die Ermittlung spezifischer Kennzahlen, die auf den erwarteten Anlagenzubau in Thüringen übertragen wurden. Auf diese Weise lassen sich die zusätzlichen Vollzeitarbeitsplätze abschätzen, die durch den Ausbau der erneuerbaren Energien in Thüringen bis zum Jahr 2020 entstehen können.

Neben den Effekten im Produktionsbereich konnten auf diese Weise auch Beschäftigungseffekte im Bereich des Anlagenbetriebs und der Anlagenwartung bestimmt werden. Ergänzend wurden weitere Arbeitsplätze in der Land- und Forstwirtschaft ermittelt, auch hierzu bilden die Daten von Lehr (2011) die Basis.

Da die Umwandlung von Biomasse zu Biokraftstoffen in großen zentralen Anlagen erfolgt, besitzen diese Energieträger auf der Ebene der Landkreise nur eine marginale Bedeutung. Entsprechend werden diese Optionen aus der weiteren Betrachtung ausgeklammert.

### **8.5.1 Arbeitsplatzeffekte im Bereich der Anlagenherstellung**

Zunächst werden die erwarteten Arbeitsplätze im Bereich der Anlagenherstellung betrachtet. Diese Arbeitsplätze werden an den Standorten der Anlagenhersteller entstehen und kommen den einzelnen Landkreisen in der Regel nicht direkt zugute.

Insgesamt ergeben sich durch den Ausbau der erneuerbaren Energien im Referenzszenario für Gesamtthüringen bis zum Jahr 2020 rund 2.500 neue Vollzeitarbeitsplätze im produzierenden Bereich.

Allerdings ergeben sich technologieabhängige Unterschiede. So bietet das große Windenergiepotenzial in Nord- und Mittelthüringen auch gute Perspektiven zur Schaffung zusätzlicher Arbeitsplätze. Dennoch sind die Effekte geringer, als der hohe Zubau an Anlagenleistung in diesen Regionen vermuten lässt (Abb. 76 und 77). Eine Ursache liegt darin, dass die Produktion von Windenergieanlagen in Deutschland mittlerweile in einer hoch technisierten Serienfertigung erfolgt und der Personaleinsatz entsprechend gering ist. Ähnliches gilt für die Photovoltaikindustrie. Deutlich größere Arbeitsplatzeffekte gibt es dagegen im Bereich der Solarthermie. Die Ursache liegt hier in der vergleichsweise großen Anlagenzahl, die sich hinter den im Referenzszenario berechneten Zubauleistungen verbergen. So trägt der Ausbau der Windenergie in Nordthüringen zu rund 21 Prozent zu den errechneten Arbeitsplatzeffekten bei, in Südwestthüringen sind es lediglich 8 Prozent. Dagegen beträgt hier der Beitrag der Solarthermie fast 60 Prozent, in Nordthüringen liegt er bei 33 Prozent. Die Abbildungen 76 bis 79 zeigen die möglichen Arbeitsplatzeffekte durch Anlagenproduktion in den Landkreisen der Planungsregionen.



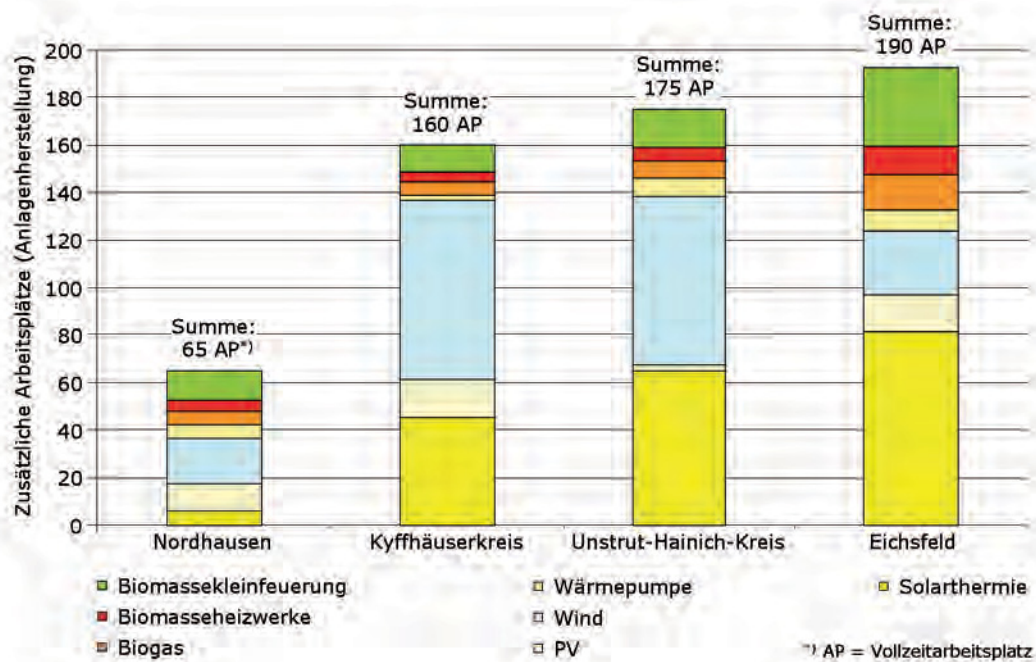


Abb. 76 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen in der Anlagenproduktion beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Nordthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen).

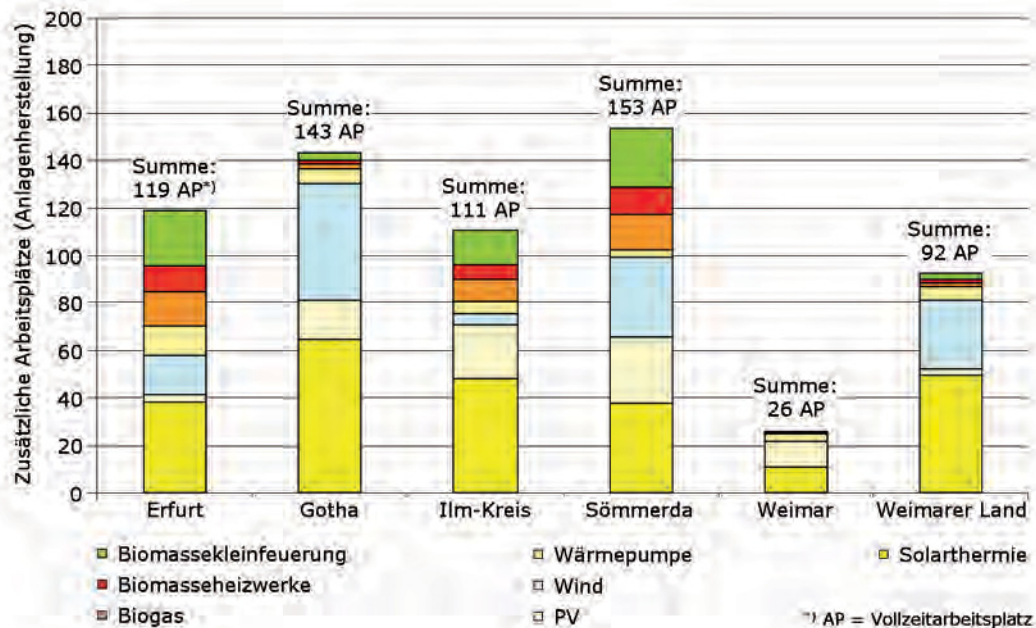


Abb. 77 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen in der Anlagenproduktion beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Mittelthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen).

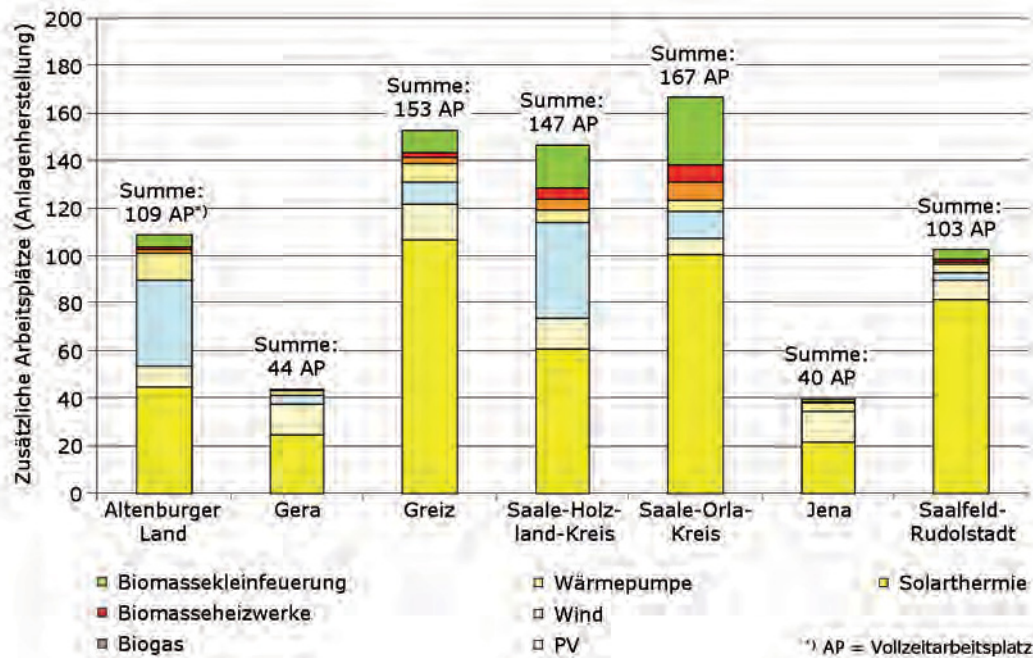


Abb. 78 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen in der Anlagenproduktion beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Ostthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen).

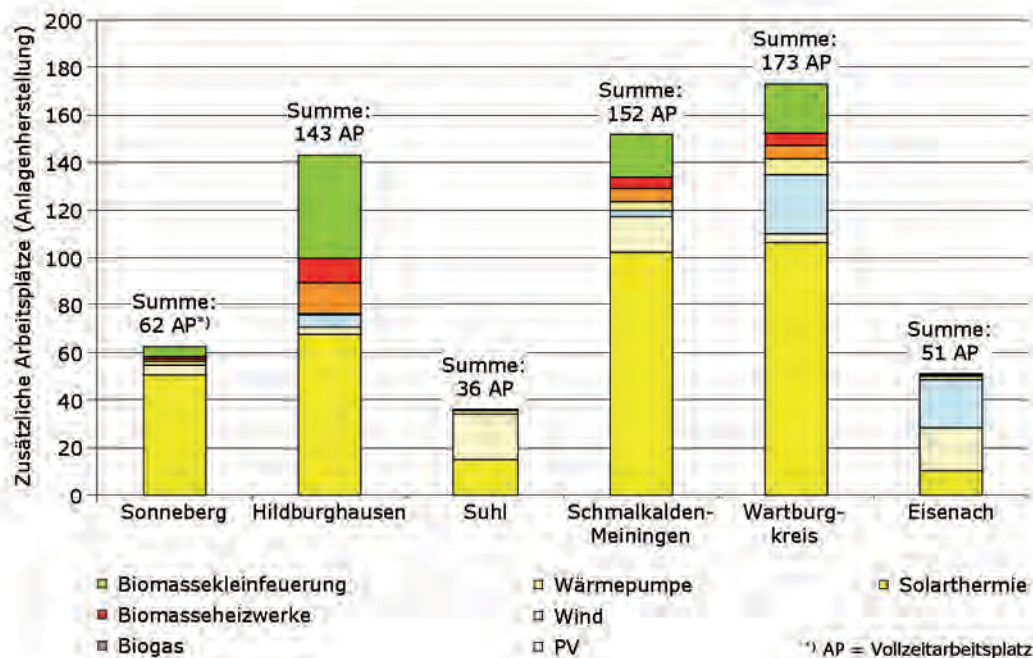


Abb. 79 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen in der Anlagenproduktion beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Südwestthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen).

### 8.5.2 Arbeitsplatzeffekte durch Wartung und Anlagenbetrieb

Durchaus beachtlich sind die Brutto-Arbeitsplatzeffekte in allen Landkreisen, die sich durch die Anlagenwartung und den Anlagenbetrieb ergeben (Abb. 80 bis 83). Die Berechnungen ergeben für Gesamthüringen rund 950 zusätzliche Vollzeitarbeitsplätze. Auffällig ist, dass insbesondere die Kleinanlagen im Biomassebereich hohe Arbeitsplatzeffekte besitzen, die zwischen 43 Prozent (Mittelthüringen) und 52 Prozent (Südwestthüringen) der gesamten zusätzlichen Vollzeitarbeitsplätze im Bereich Wartung/Instandhaltung ausmachen. Aufgrund ihrer hohen Anzahl und ihrer nahezu flächendeckenden Verteilung über das gesamte Landesgebiet ergibt sich hier ein hoher Personalbedarf, der durch örtliche Handwerksunternehmen abgedeckt werden kann.

Deutlich geringer sind dagegen die Beiträge der Technologielinie „Photovoltaik“, die lediglich zu rund 2 Prozent zur Schaffung zusätzlicher Vollzeitarbeitsplätze im Bereich Wartung/Instandhaltung beiträgt.

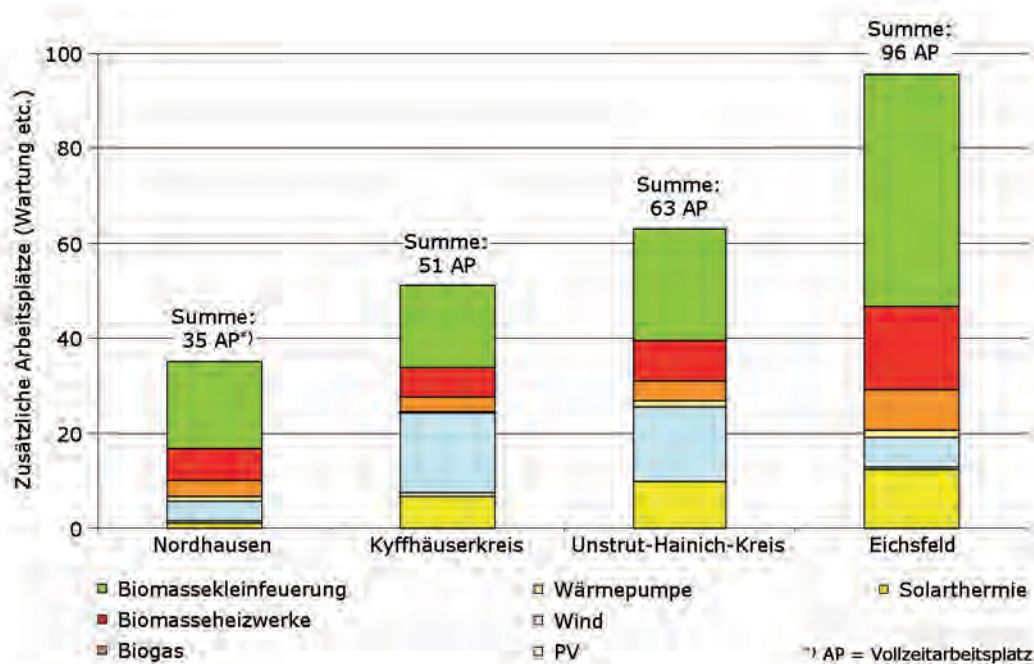


Abb. 80 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen im Bereich Wartung und Betrieb beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Nordthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen).



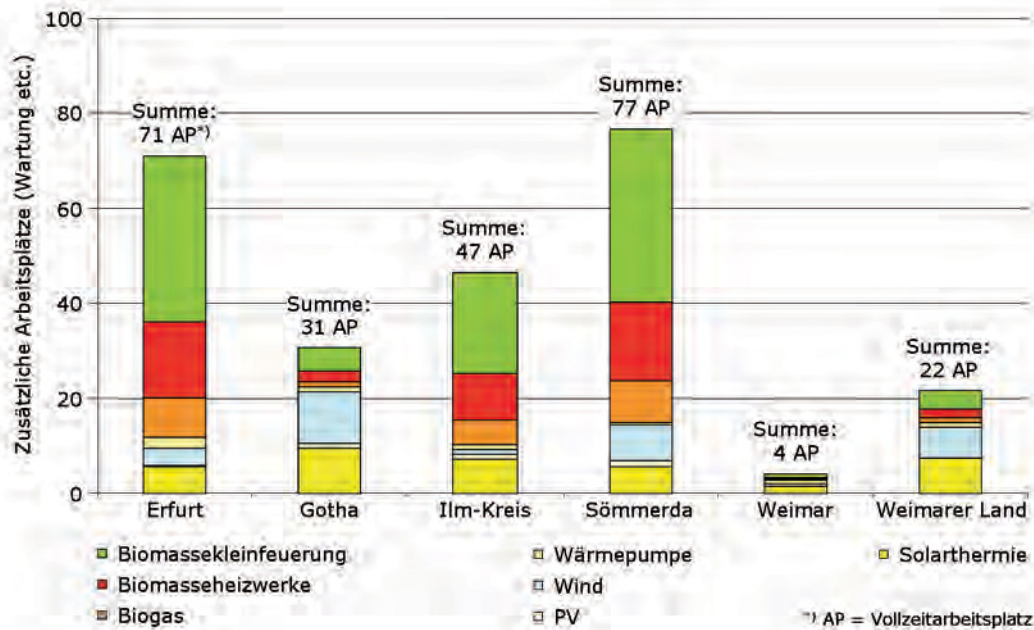


Abb. 81 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen im Bereich Wartung und Betrieb beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Mittelhessen (Lehr 2011, eigene Berechnungen).

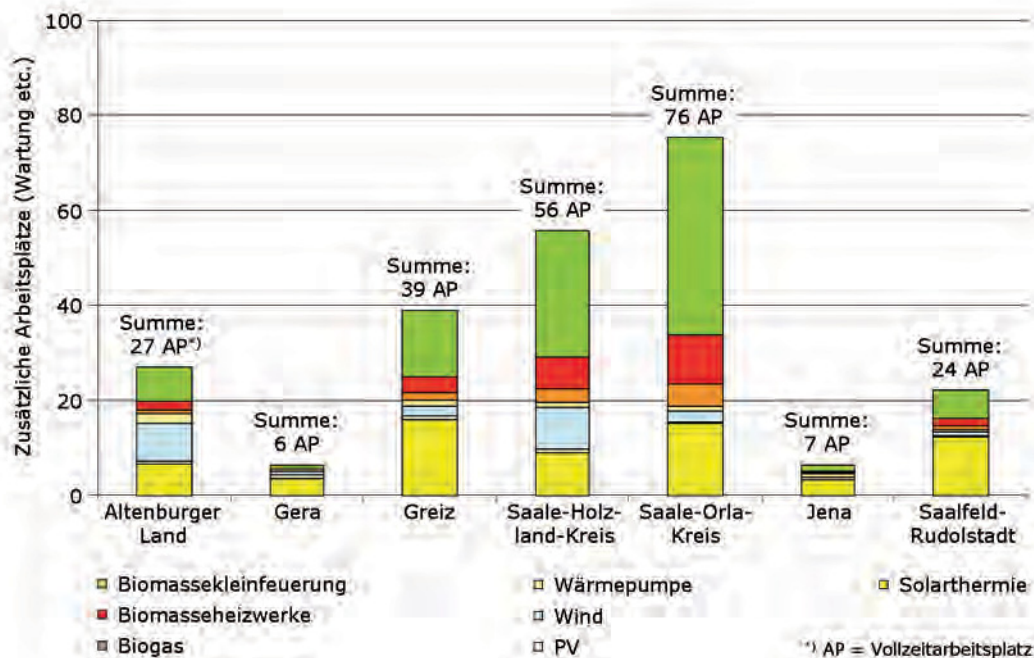


Abb. 82 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen im Bereich Wartung und Betrieb beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Ostthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen).

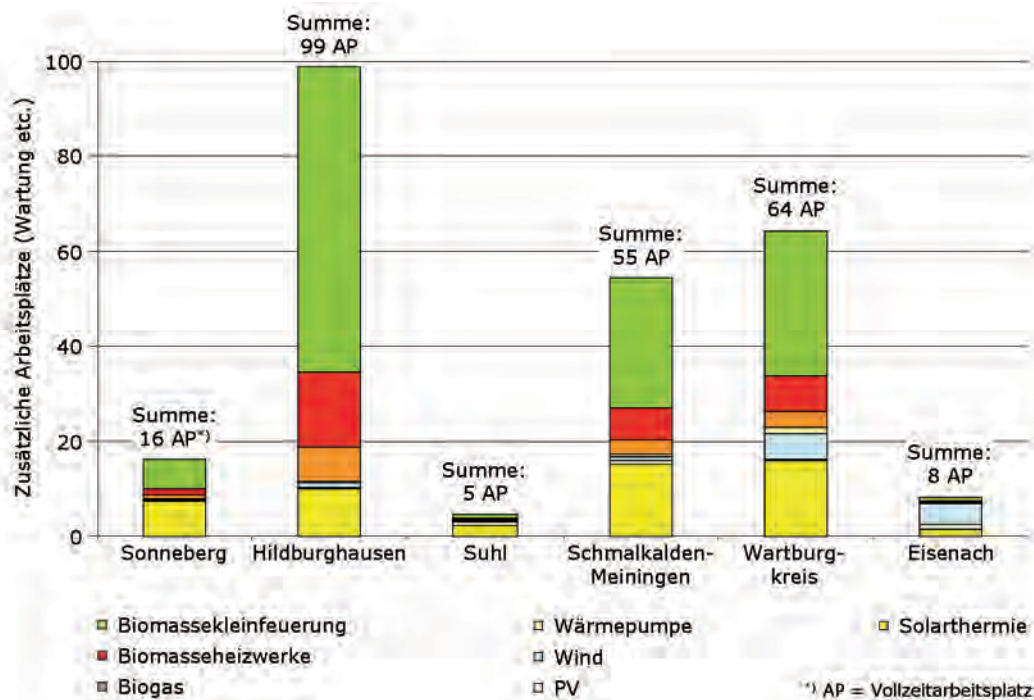


Abb. 83 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen im Bereich Wartung und Betrieb beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Südwestthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen).

### 8.5.3 Arbeitsplatzeffekte in der Land- und Forstwirtschaft

Abschließend werden die Auswirkungen einer verstärkten Biomassenutzung auf die Arbeitsplatzsituation in der Land- und Forstwirtschaft untersucht (Abb. 84 bis 87).

Thüringenweit ergeben sich aus dem Ausbau der Bioenergienutzung rund 540 zusätzliche Vollzeitarbeitsplätze in Zusammenhang mit der Gewinnung und Aufbereitung von Bioenergieträgern. Da das Referenzszenario vorrangig einen Ausbau der Bioenergie durch die Nutzung von landwirtschaftlichen Produkten und Reststoffen unterstellt, werden die Arbeitsplätze auch zum Großteil in der Landwirtschaft geschaffen. Dabei spielt die Strohnutzung eine große Rolle. Auch die auffallend hohen Effekte im Bereich der Biomassekleinfeuerungen entstehen zum Teil durch den Einsatz von Stroh in Strohheizungen im Leistungsbereich von ca. 20 bis 100 Kilowatt, etwa in Form von Pellets. Gerade die Pelletierung der Rohstoffe kann zu zusätzlichen Arbeitsplatzeffekten beitragen, da dieser Industriezweig bislang in Thüringen noch nicht vertreten ist. Geht man davon aus, dass rund 400.000 Tonnen Stroh jährlich pelletiert werden können und diese Verarbeitung aufgrund der niedrigen Transportdichte von Stroh dezentral erfolgt, so könnten maximal sechs Standorte entstehen, an denen Strohpellets erzeugt werden. Bei einem Mitarbeiterstamm von rund 30 Beschäftigten, die direkt oder indirekt mit der Herstellung und dem Vertrieb von Pellets beschäftigt sind (Obernberger 2009), ergeben sich somit ca. 180 Vollzeitarbeitsplätze.

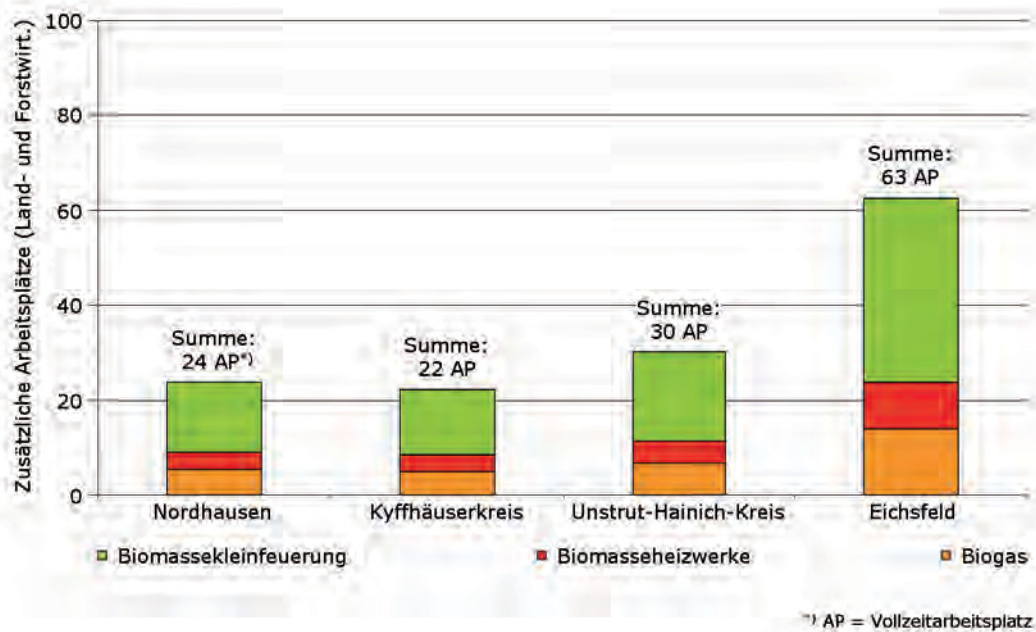


Abb. 84 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen in der Land- und Forstwirtschaft beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Nordthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen).

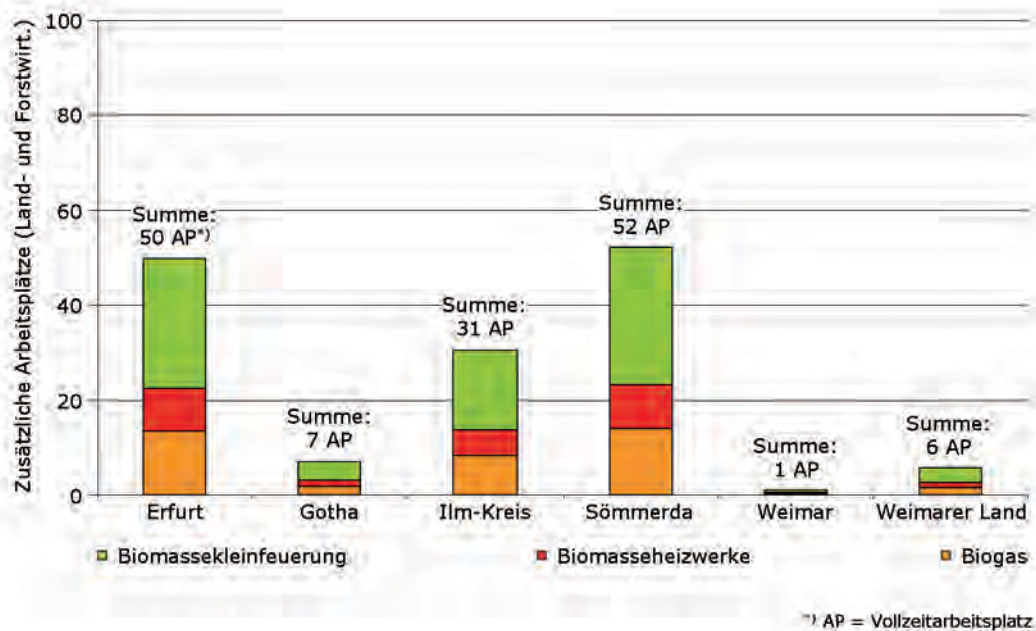


Abb. 85 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen in der Land- und Forstwirtschaft beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Mittelthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen).

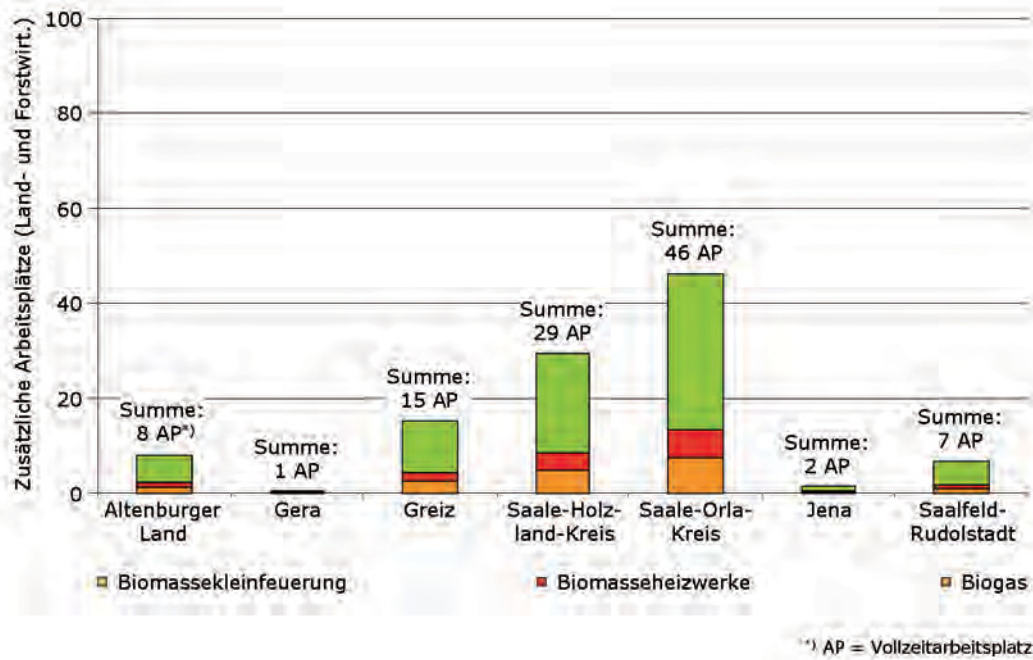


Abb. 86 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen in der Land- und Forstwirtschaft beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Ostthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen).

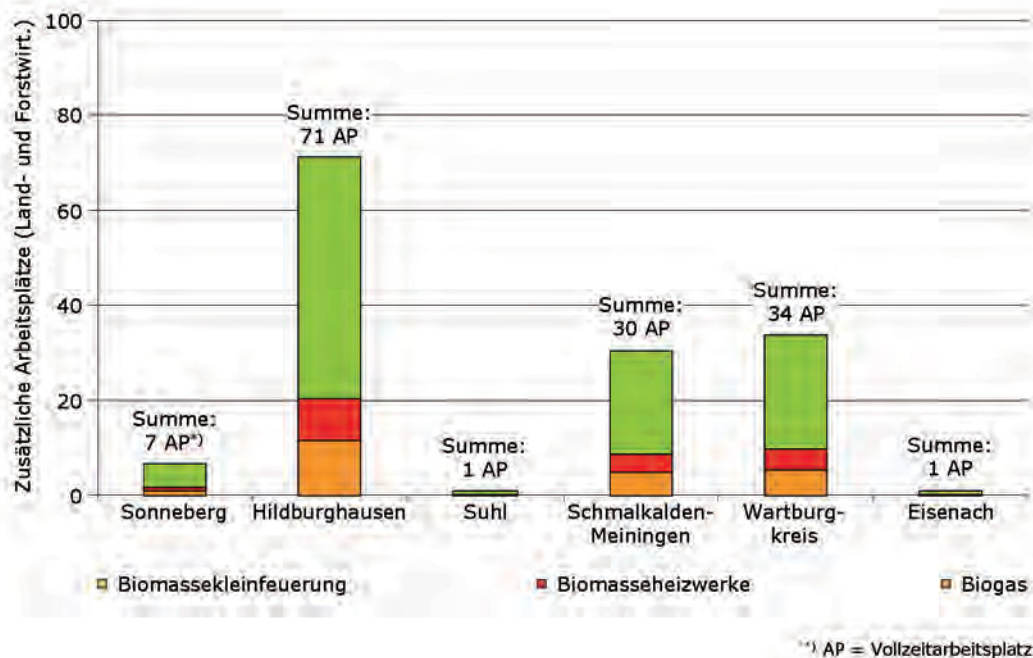


Abb. 87 Zuwachs an Brutto-Arbeitsplätzen in der Land- und Forstwirtschaft beim Ausbau der regenerativen Energien im Referenzszenario bis zum Jahr 2020 in den einzelnen Landkreisen der Planungsregion Südwestthüringen (Lehr 2011, eigene Berechnungen).



## 8.6 Zusammenfassung

Die vorstehenden Betrachtungen zeigen, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien in Thüringen nicht allein aus energiewirtschaftlichen Aspekten interessant ist. Vielmehr sind mit dem Ausbau auch signifikante ökonomische Effekte verbunden, die besonders im Bereich der Produktion in den Landkreisen wirksam werden. Ferner lassen sich durch den Ausbau in begrenztem Umfang zusätzliche Arbeitsplätze im Bereich des Anlagenbetriebs und der Wartung schaffen.

Der Ausbau der Bioenergienutzung schafft zusätzliche Arbeitsplätze in der Land- und Forstwirtschaft. Wie in anderen Studien ähnlichen Inhalts ist aber festzustellen, dass der Ausbau regenerativer Energien nur einen begrenzten Arbeitsplatzeffekt mit sich bringt. Nachteilig ist auch, dass gerade im Bereich der Anlageninvestitionen derzeit ein großer Teil der erzielbaren Wertschöpfung aus Thüringen abfließen würde. Es wäre daher aus wirtschaftspolitischer Sicht interessant, Anlagenhersteller zur Ansiedlung in Thüringen zu motivieren.

Abschließend sei nochmals darauf hingewiesen, dass die vorstehenden Betrachtungen auf Modellen beruhen, die zum Teil auf stark vereinfachten Annahmen aufbauen. Wie alle Modelle bilden sie damit die Realität vereinfacht ab. Die hier vorgenommene Betrachtung Thüringens, aufgelöst auf Landkreisebene, kann daher Detailuntersuchungen zu spezifischen Fragestellungen nicht ersetzen. Sie bietet aber einen vergleichenden Überblick über die Stärken und Schwächen einzelner Regionen und bildet damit eine Basis für grundsätzliche Entscheidungen.

## 9 Handlungsempfehlungen

In der vorliegenden Studie wurde der Frage nachgegangen, welche Potenziale und Möglichkeiten in Thüringen bestehen, die Nutzung regenerativer Energien auszubauen.

Von besonderem Interesse war dabei die Frage, ob und wie die Ziele der Thüringer Landesregierung (Anteil erneuerbarer Energien am Nettostromverbrauch 45 Prozent (derzeit rund 24 Prozent) und am Endenergieverbrauch 30 Prozent (aktuell ca. 18 Prozent)) erreicht werden können. Die Ergebnisse der Szenarienanalyse zeigen, dass das Ziel „45 Prozent Strom aus erneuerbaren Energien bis 2020“ realistisch ist und bereits im Referenzszenario erreicht wird. Dazu ist ein intelligenter Mix aus allen erneuerbaren Energien notwendig. Insbesondere das Windpotenzial eröffnet Freiheitsgrade beim Ausbau der erneuerbaren Energien, die zur Kostendämpfung genutzt werden sollten. Biomasse als grundlastfähiger Energieträger besitzt im zukünftigen regenerativen Strommix eine hohe Bedeutung. Daher gilt es, die großen Potenziale im Strohbereich zu erschließen.

Deutlich schwieriger ist der Umbau des Wärmemarkts hin zu erneuerbaren Energien. Ausgehend von einem Anteil von 24 Prozent erneuerbarer Energien im Wärmemarkt Thüringens im Jahr 2010 (entspricht einem Anteil von rund 12 Prozent am gesamten Endenergieverbrauch) erscheint eine Erhöhung auf ca. 27 Prozent (entspricht einem Anteil von 15 Prozent am gesamten Endenergieverbrauch) realistisch. Trotz dieses vergleichsweise kleinen Zuwachses ist im Wärmesektor eine konsequente Erschließung aller erneuerbaren Energieträger notwendig. Die regenerative Wärmeerzeugung wird zurzeit von der Nutzung biogener Festbrennstoffe dominiert. Hier bestehen nur begrenzte Ausbaupotenziale. Daher ist ein Einstieg in die Nutzung der oberflächennahen und tiefen Geothermie erforderlich. Die verstärkte Nutzung des großen, tiefeingeothermischen Potenzials setzt einen Ausbau der Nah- und Fernwärmenetze voraus.

Aus den Ergebnissen der Studie lassen sich folgende Handlungsempfehlungen ableiten:

### **Strombereich**

Das Ausbauziel von 45 Prozent im Strombereich bis 2020 ist realistisch und energiepolitisch ein wichtiges Signal. Die Windpotenziale sind aufgrund der Kosten vorrangig zu erschließen. Die Landesentwicklungsplanung ist konsequent an den Ausbauzielen zu orientieren. Der Ausbau der erneuerbaren Energien in Thüringen muss sich in die bundesdeutsche Elektrizitätsversorgung integrieren. Dazu sind Speicherkapazitäten und Netzinfrastruktur auszubauen.

Tabelle 34 zeigt die jährlichen Zubauraten der erneuerbaren Energien im Strombereich für alle Planungsregionen bis 2020. Die größten Potenziale liegen im verstärkten Ausbau der **Windenergie**. Nord- und Mittelthüringen können durch den jährlichen Zubau von 10 bis 15 Windenergieanlagen der neusten Generation (3-MW-Anlagen) zwischen 50 und 70 Gigawattstunden erneuerbaren Strom zusätzlich erzeugen. In Ost- und Mittelthüringen wäre es möglich, jährlich zwischen fünf und zehn Windenergieanlagen der 3-MW-Klasse zuzubauen. Die Ertragssteigerungen sollten dabei sowohl durch Neubau als auch durch Repowering älterer Anlagen erfolgen. Bei Repowering der Anlagen, die nicht in ausgewiesenen Vorrangflächen stehen, wäre es sinnvoll, hierfür explizit Konzentrationsflächen zu schaffen. Dadurch kann die Leistung gebündelt und das Landschaftsbild entlastet werden.

Ein weiterer Faktor ist der Ausbau der **Photovoltaik**. Hier liegen die größten Potenziale aufgrund der siedlungsraumtypischen Verteilung sowie der geeigneten Brachflächen in Mittel- und Ostthüringen. Hier müssten etwa jährlich 2.200 Quadratmeter Modulfläche zugebaut werden. In Nord- und Südwestthüringen wird ein jährlicher Zubau von rund 1.800 Quadratmetern Modulfläche erforderlich sein. Um die großen Potenziale der Photovoltaik im Bereich kleiner Dach- und Fassadenanlagen erschließen zu können, ist eine Weiterführung der Förderung im Rahmen des EEG unerlässlich. Ferner ist zu prüfen, inwieweit zusätzliche Flächen für Photovoltaikanlagen genutzt werden können. Interessant sind hier u.a. Flächenstreifen von rund 110 Meter entlang von Autobahnen oder Schienenwegen.

Im Bereich der **Wasserkraftnutzung** sind die jährlichen Zubauraten vergleichsweise gering und ein Ausbau nur bedingt möglich. Hier ist zu prüfen, ob zusätzliche Ausbaumöglichkeiten an kleineren Fließgewässern bestehen. Der Neubau von Wasserkraftwerken an bestehenden Querbauwerken sollte unterstützt werden. Ferner gilt es, das Modernisierungspotenzial bestehender Anlagen konsequent auszunutzen. Hierfür sollten konkrete Flächenanalysen erfolgen.

Der Ausbau der **Tiefengeothermie** bietet in Thüringen große Potenziale. Er ist damit grundsätzlich zu befürworten. Allerdings ist diese Technologie kostenintensiv, wobei zusätzliche Kosten durch den Neu- oder Ausbau von Wärmenetzen entstehen. Daher sollte geprüft werden, inwieweit vorhandene Wärmenetze für die Aufnahme geothermischer Wärmeenergie geeignet sind bzw. ob noch zusätzliche Wärmemengen transportiert werden können. Im Referenzszenario wird der Bau eines Tiefengeothermie-Heizkraftwerks unterstellt. Dieses sollte in einem Bereich mit guter oder sehr guter petrothormaler Eignung und einem bereits ausgebauten Wärmenetz erbaut werden. Hierfür wäre beispielsweise der Raum Erfurt prädestiniert.

Im Bereich der **Biomasse** bestehen in Thüringen die größten Potenziale bei der Strohnutzung. Hier erscheint eine verstärkte Forschungs- und Entwicklungsarbeit zielführend, um die nach wie vor bestehenden technischen Schwierigkeiten bei der energetischen Strohnutzung zu überwinden. Mit der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft und den auf dem Gebiet der Biomasseforschung tätigen Universitäten und Hochschulen des Freistaats steht bereits heute eine hohe Fachkompetenz zur Verfügung, die zur Lösung dieser Problemstellungen wesentliche Impulse liefern kann. Eine Förderung derartiger Vorhaben ist daher erstrebenswert. Ähnliches gilt für den Bereich der Kurzumtriebshölzer, auch hier stellen sich technische und ökonomische Fragen, die zu beantworten sind, um diese Ressource stärker als bisher nutzen zu können. Ferner sind die Möglichkeiten, verstärkt Biogas in das Erdgasnetz einzuspeisen, landesweit zu prüfen. Im regionalen Vergleich der Biomassepotenziale fallen große Unterschiede zwischen den Planungsregionen auf. Mittel- und Nordthüringen zeichnen sich durch hohe Zubauraten aus, wohingegen in Südwest- und Ostthüringen geringere Zuwächse prognostiziert werden. Gründe hierfür sind zum einen die unterschiedlichen naturräumlichen Voraussetzungen und zum anderen die in Südwest- und Ostthüringen bereits bestehenden Bioenergieanlagen, die zu einer regional starken Nachfrage nach Holzbrennstoffen führen. Dadurch wird in diesen Regionen bereits ein sehr großer Teil der vorhandenen Biomassepotenziale ausgeschöpft, was sich in den geringen jährlichen Zubauraten bemerkbar macht.

### **Wärmebereich**

Der Wärmebereitstellung kommt mit einem Anteil von etwa 50 Prozent am Endenergieverbrauch eine zentrale Bedeutung zu. Eine Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien im Wärmebereich ist bis 2020 nur mit zusätzlichen Impulsen erreichbar. Hierzu zählt u.a. ein Einstieg in die Nutzung der oberflächennahen und tiefen Geothermie. Flankierend sind spürbare Effizienzsteigerungen zur Senkung des Wärmeverbrauchs in allen Sektoren erforderlich. Zusätzliche Impulse können durch die Vorbildfunktion der öffentlichen Hand ausgehen oder durch ein Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz für Thüringen generiert werden.

Tabelle 35 zeigt die jährlichen Zubauraten der erneuerbaren Energien im Wärmebereich für alle Planungsregionen bis 2020. Im Jahr 2020 können unter den Bedingungen des Referenzszenarios in Thüringen ca. 27 Prozent des Wärmebedarfs durch erneuerbare Wärmebereitstellung gedeckt werden. Die größten Zubauraten sind im Bereich der **Biomasse** in Mittel- und Nordthüringen zu erzielen. In Ost- und Südwestthüringen ist durch das Vorkommen weniger, aber leistungsstarker Bioenergieanlagen bereits mehr als das in diesen Regionen vorhandene Potenzial ausgeschöpft, sodass kein weiterer Zubau angenommen werden kann.

Die Unterschiede im Bereich der Nutzung der solarthermischen und oberflächennahen geothermischen Potenziale sind auf die Besonderheiten der siedlungsraumtypischen Zusammensetzungen zurückzuführen.

Bei der Nutzung der **oberflächennahen Geothermie** und Tiefengeothermie ergeben sich thüringenweit erhebliche Ausbaupotenziale. Im Bereich der tiefengeothermischen Wärmebereitstellung werden die Annahmen analog zu denen im Strombereich getroffen. Da die Nutzung dieser Energiequelle aus heutiger Sicht weitgehend konfliktfrei möglich ist, erscheint ein beschleunigter Ausbau dieser Technologie im Wärmebereich besonders zielführend.

Um den Ausbau der oberflächennahen Geothermie voranzutreiben, wird angeregt, das bei der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) eingeführte Auskunftssystem Geothermie zu erweitern und zu einem Informationssystem auszubauen, das dem Interessenten konkrete Hinweise zur Dimensionierung und zur Kostenabschätzung für Erdwärmesonden in Abhängigkeit von der zu beheizenden Fläche liefert.

## ***Treibstoffe und Mobilität***

Der Schwerpunkt dieser Studie liegt in einer Bewertung der Ausbaumöglichkeiten der regenerativen Energien im Strom- und Wärmemarkt. Die Ergebnisse zeigen, dass die politisch gesetzten Ausbauziele erreichbar sind, hierfür aber eine Nutzung aller regenerativen Energieträger in Thüringen erforderlich ist. Die zusätzliche Erzeugung von Biotreibstoffen erscheint vor diesem Hintergrund kaum über das heutige Niveau hinaus steigerungsfähig. Um dem wachsenden Energiebedarf im Mobilitätsbereich zu begegnen, sind daher neue Konzepte erforderlich. Neben dem Ausbau des öffentlichen Personennah- und Fernverkehrs gilt es, alternative Antriebssysteme zu fördern, insbesondere die Elektromobilität. Angeregt wird, den Einsatz der Elektromobilität im Tourismusbereich zu fördern. Vor dem Hintergrund des Leitmotivs „Thüringen – grüner Motor Deutschlands“ würden sich hier hohe öffentliche Aufmerksamkeitseffekte erzielen lassen.

## ***Netze und Speicher***

Die vorliegende Studie weist auf die hohen Potenziale hin, die sich in Thüringen beim Ausbau der Windenergie bieten. Der beschleunigte Ausbau der Windenergie ist eng mit der Frage eines Netzausbaus und der Schaffung von zusätzlichen Energiespeichern verbunden. Hinsichtlich des Netzausbaus ist zu prüfen, inwieweit die lokale Einspeisung zusätzlicher Windstrommengen mit der örtlichen Netzinfrastruktur vereinbar ist. Gegebenenfalls notwendige Ausbaumaßnahmen sollten kurzfristig umgesetzt werden. Bei der Frage der Energiespeicherung bietet sich als eine Option der Bau eines zusätzlichen Pumpspeicherkraftwerks an. Die derzeit laufenden Untersuchungen haben daher eine hohe Bedeutung.

Der Ausbau von kleinen, dezentralen Stromerzeugungsanlagen, insbesondere Photovoltaikanlagen führt zu einer zusätzlichen Belastung der örtlichen Niederspannungsnetze. Hier ist zu prüfen, inwieweit Anreizsysteme die Eigennutzung des Stroms fördern können und damit die Einspeisung größerer Mengen sogenannten „grauen Stroms“ begrenzen können. Ferner kann die Einführung von intelligenten Netzen („Smart Grids“) zu einer verbesserten Kontrolle und Regelung derartiger kleiner Einspeisequellen beitragen. Smart Metering und Mehrtarifsysteme bieten zusätzlich die Möglichkeit, die Verfügbarkeit elektrischer Energie und den Strombedarf regional besser aufeinander abzustimmen. Daher ist die Einführung derartiger intelligenter Netze zu forcieren.

## ***Energieeffizienz***

Die vorliegende Studie weist darauf hin, dass im Wärmebereich die politischen Zielvorgaben durch den Ausbau der erneuerbaren Energien allein nicht zu erreichen sind. Entsprechend sind gerade in diesem Bereich flankierende Effizienzmaßnahmen erforderlich. Große Potenziale eröffnen sich im Bereich der Gebäudesanierung. Eine Steigerung der Sanierungsrate über den derzeitigen Stand von rund 1 Prozent hinaus erscheint daher vordringlich. Eine Vorbildfunktion kommt hierbei den öffentlichen Gebäuden zu.

## ***Unterstützende Maßnahmen***

Die im Rahmen dieser Studie aufgezeigten Optionen zum Ausbau der erneuerbaren Energien in Thüringen können eine rasche Energiewende herbeiführen. Neben den rein technischen und ökonomischen Fragen ist ein derart tief greifender Wandel eines Energieversorgungssystems aber auch von der gesellschaftlichen Akzeptanz eines derartigen Veränderungsprozesses abhängig. Daher sind zusätzliche Maßnahmen sinnvoll, um den Ausbauprozess der regenerativen Energien im Freistaat zu unterstützen. Der Ausbau der Windenergie wurde in den vergangenen Jahren durch eine mangelnde Akzeptanz dieser Technologien erschwert. Zu prüfen ist, ob und inwieweit Modelle zur Bürgerbeteiligung („Bürgerwindparks“) derartige Vorbehalte mindern können und damit den Ausbau erleichtern.

Ferner wird die Umsetzung lokaler Vorhaben oftmals durch ein Informationsdefizit gehemmt. Die in dieser Studie zusammengestellten Daten bilden eine wertvolle Grundlage für Entscheidungen zum Einsatz regenerativer Energien auf kommunaler Ebene. Entsprechend ist es sinnvoll, eine zentrale Anlaufstation einzurichten, bei der sich Kommune und Gemeinden über die bei ihnen bestehenden Potenziale und die Erfolg versprechenden Möglichkeiten zu ihrer Ausschöpfung informieren können.

Die Energiepolitik muss stärker als bisher den Bürgern bekannt und verständlich gemacht werden. Ein landesweites Change-Management ist zu organisieren. Neben Informationskampagnen und der stärkeren Präsenz energiepolitischer Themen in öffentlichen Einrichtungen ist eine stärkere Verankerung des Themas in Schulen, etwa über schulische Projekte, zu fördern.

Insgesamt sind aber die Voraussetzungen sehr gut, die gesetzten Ziele in den nächsten Jahren zu erreichen. Damit könnte Thüringen eine Vorbildfunktion für andere Bundesländer einnehmen.

**Tab. 34      Jährlicher Zubau erneuerbarer Strombereitstellung für die vier Planungsregionen und Thüringen bis 2020.**

|                               | Sonne<br>(PV)      | Wind  | Wasser | Bio-<br>masse <sup>1</sup> | Tiefen-<br>geo-<br>thermie | Summe | Strom-<br>bedarf | Anteil<br>EE am<br>Strom-<br>bedarf <sup>3</sup> |
|-------------------------------|--------------------|-------|--------|----------------------------|----------------------------|-------|------------------|--|
|                               | GWh/a <sup>2</sup> |       |        |                            |                            |       |                  | %  |
| Mittelthüringen               |                    |       |        |                            |                            |       |                  |  |
| 2010                          | 72                 | 370   | 9      | 250                        | 0                          | 701   | 3785             | 18,5   |
| 2020                          | 256                | 889   | 10     | 402                        | 42                         | 1.599 | 3869             | 41,3   |
| jährlicher<br>Zubau in<br>GWh | 18,4               | 51,9  | 0,1    | 15,2                       | eine<br>Anlage<br>bis 2020 | 89,8  |                  |  |
| Nordthüringen                 |                    |       |        |                            |                            |       |                  |  |
| 2010                          | 57                 | 488   | 2      | 259                        | 0                          | 806   | 2218             | 36,3   |
| 2020                          | 195                | 1.162 | 2      | 397                        | 0                          | 1.756 | 2198             | 79,9   |
| jährlicher<br>Zubau           | 13,8               | 67,4  | 0      | 13,8                       | 0                          | 95    |                  |  |
| Ostthüringen                  |                    |       |        |                            |                            |       |                  |  |
| 2010                          | 73                 | 234   | 60     | 736                        | 0                          | 1.103 | 4224             | 26,1   |
| 2020                          | 253                | 544   | 63     | 785                        | 0                          | 1.645 | 4190             | 39,3   |
| jährlicher<br>Zubau in<br>GWh | 18                 | 31    | 0,3    | 4,9                        | 0                          | 54,2  |                  |  |
| Südwestthüringen              |                    |       |        |                            |                            |       |                  |  |
| 2010                          | 65                 | 112   | 23     | 341                        | 0                          | 541   | 2962             | 18,3   |
| 2020                          | 219                | 313   | 25     | 381                        | 0                          | 938   | 2917             | 32,2   |
| jährlicher<br>Zubau in<br>GWh | 15,4               | 20,1  | 0,2    | 4                          | 0                          | 39,7  |                  |  |
| Thüringen                     |                    |       |        |                            |                            |       |                  |  |
| 2010                          | 266                | 1.205 | 95     | 1585                       | 0                          | 3.151 | 13189            | 23,9   |
| 2020                          | 923                | 2.908 | 99     | 1964                       | 42                         | 5.936 | 13174            | 45,1   |
| jährlicher<br>Zubau in<br>GWh | 65,7               | 170,3 | 0,4    | 37,9                       | eine<br>Anlage<br>bis 2020 | 278,5 |                  |  |

<sup>1</sup>inkl. MVA und Deponiegas; <sup>2</sup>Gigawattstunden pro Jahr; <sup>3</sup>Anteil der bereitgestellten erneuerbaren Energien am Strombedarf.

**Tab. 35**      **Jährlicher Zubau erneuerbarer Wärmebereitstellung für die vier Planungsregionen und Thüringen bis 2020.**

|                               | Sonne<br>(Kollektoren) | Erdwärme<br>(Sonden) | Biomasse <sup>1</sup> | Tiefen-<br>geo-<br>thermie | Summe | Wärme-<br>bedarf | Anteil<br>EE am<br>Wärme<br>bedarf <sup>3</sup> |
|-------------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------|-------|------------------|---|
|                               | GWh/a <sup>2</sup>     |                      |                       |                            |       |                  | %   |
| Mittelthüringen               |                        |                      |                       |                            |       |                  |   |
| 2010                          | 21                     | 18                   | 1.169                 | 0                          | 1.208 | 7.747            | 15,6  |
| 2020                          | 68                     | 84                   | 1.270                 | 26                         | 1.448 | 6.900            | 21,0  |
| jährlicher<br>Zubau in<br>GWh | 4,7                    | 6,6                  | 10,1                  | eine<br>Anlage<br>bis 2020 | 24,0  |                  |   |
| Nordthüringen                 |                        |                      |                       |                            |       |                  |   |
| 2010                          | 17                     | 12                   | 940                   | 0                          | 969   | 4.725            | 20,5  |
| 2020                          | 55                     | 56                   | 1.053                 | 0                          | 1.164 | 4.305            | 27,0  |
| jährlicher<br>Zubau in<br>GWh | 3,8                    | 4,4                  | 11,3                  | 0                          | 19,5  |                  |   |
| Ostthüringen                  |                        |                      |                       |                            |       |                  |   |
| 2010                          | 35                     | 20                   | 3.138                 | 0                          | 3.193 | 8.520            | 37,5  |
| 2020                          | 113                    | 90                   | 2.757                 | 0                          | 2.960 | 7.852            | 37,7  |
| jährlicher<br>Zubau in<br>GWh | 7,8                    | 7                    | 0                     | 0                          | 14,8  |                  |   |
| Südwestthüringen              |                        |                      |                       |                            |       |                  |   |
| 2010                          | 27                     | 8                    | 1.240                 | 0                          | 1.275 | 6.182            | 20,6  |
| 2020                          | 87                     | 36                   | 1.181                 | 0                          | 1.304 | 5.623            | 23,2  |
| jährlicher<br>Zubau in<br>GWh | 6                      | 2,8                  | 0                     | 0                          | 8,8   |                  |   |
| Thüringen                     |                        |                      |                       |                            |       |                  |   |
| 2010                          | 100                    | 58                   | 6.487                 | 0                          | 6.645 | 27.174           | 24,5  |
| 2020                          | 324                    | 266                  | 6.261                 | 26                         | 6.851 | 25.180           | 27,2  |
| jährlicher<br>Zubau in<br>GWh | 22,4                   | 20,8                 | 0                     | eine<br>Anlage<br>bis 2020 | 45,8  |                  |   |

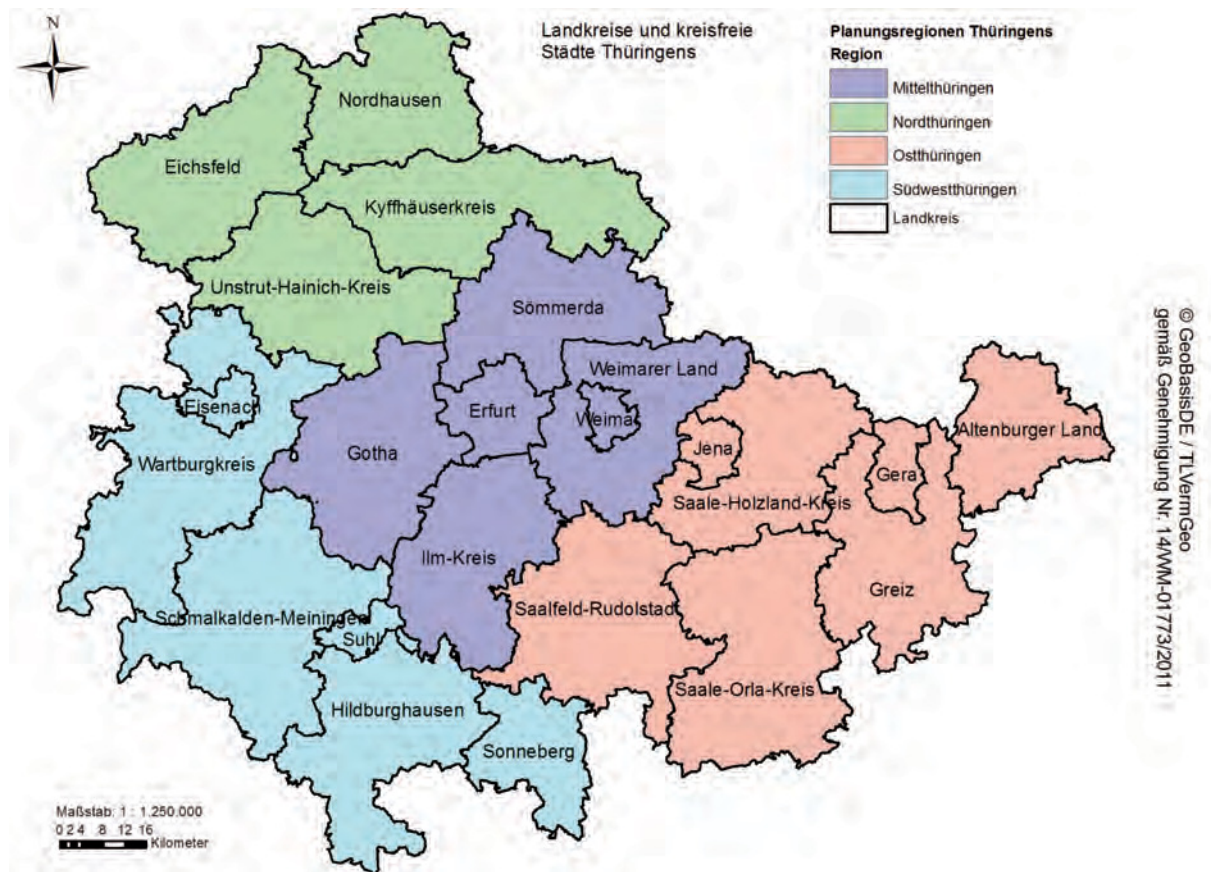
<sup>1</sup>inkl. MVA und Deponiegas; <sup>2</sup>Gigawattstunden pro Jahr; <sup>3</sup>Anteil der bereitgestellten erneuerbaren Energien am Wärmebedarf.



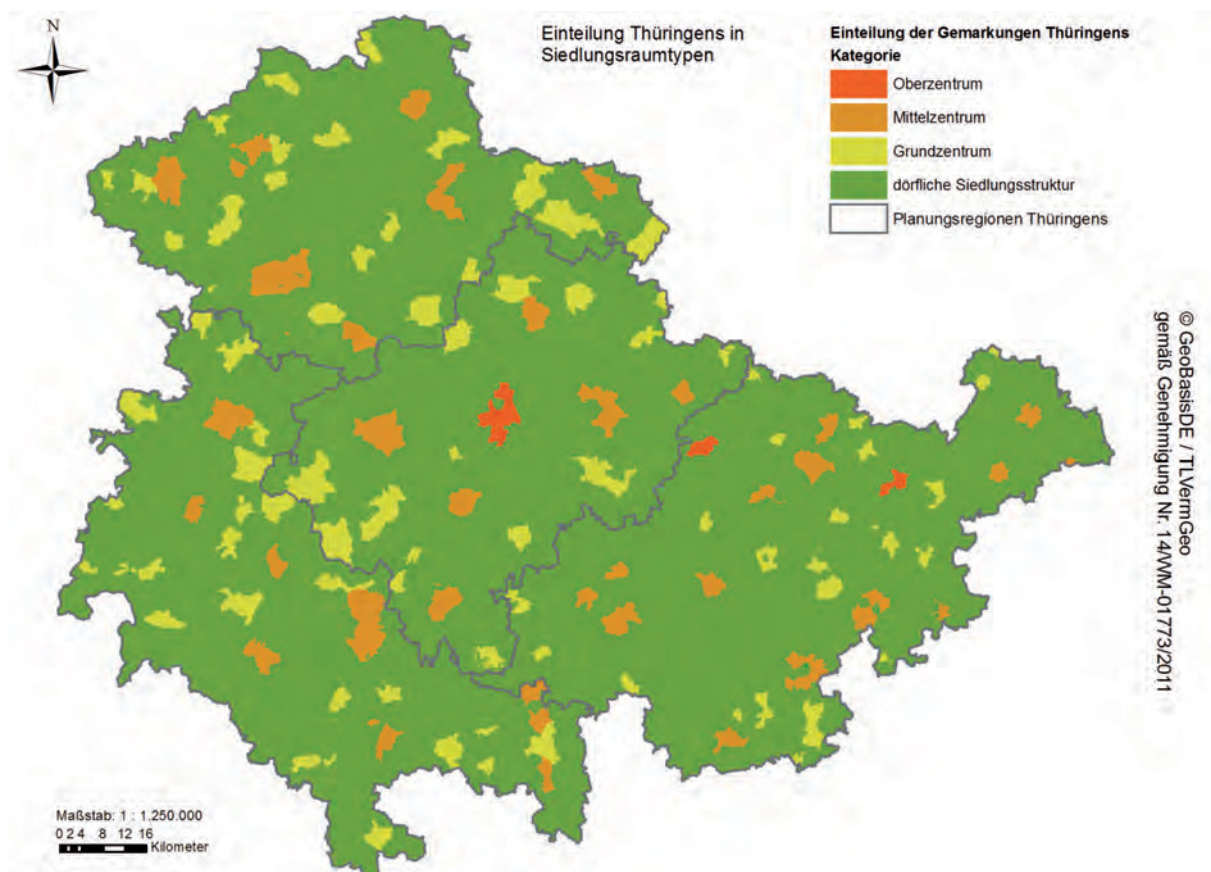


**Anhang A**  
**Kartenwerk**

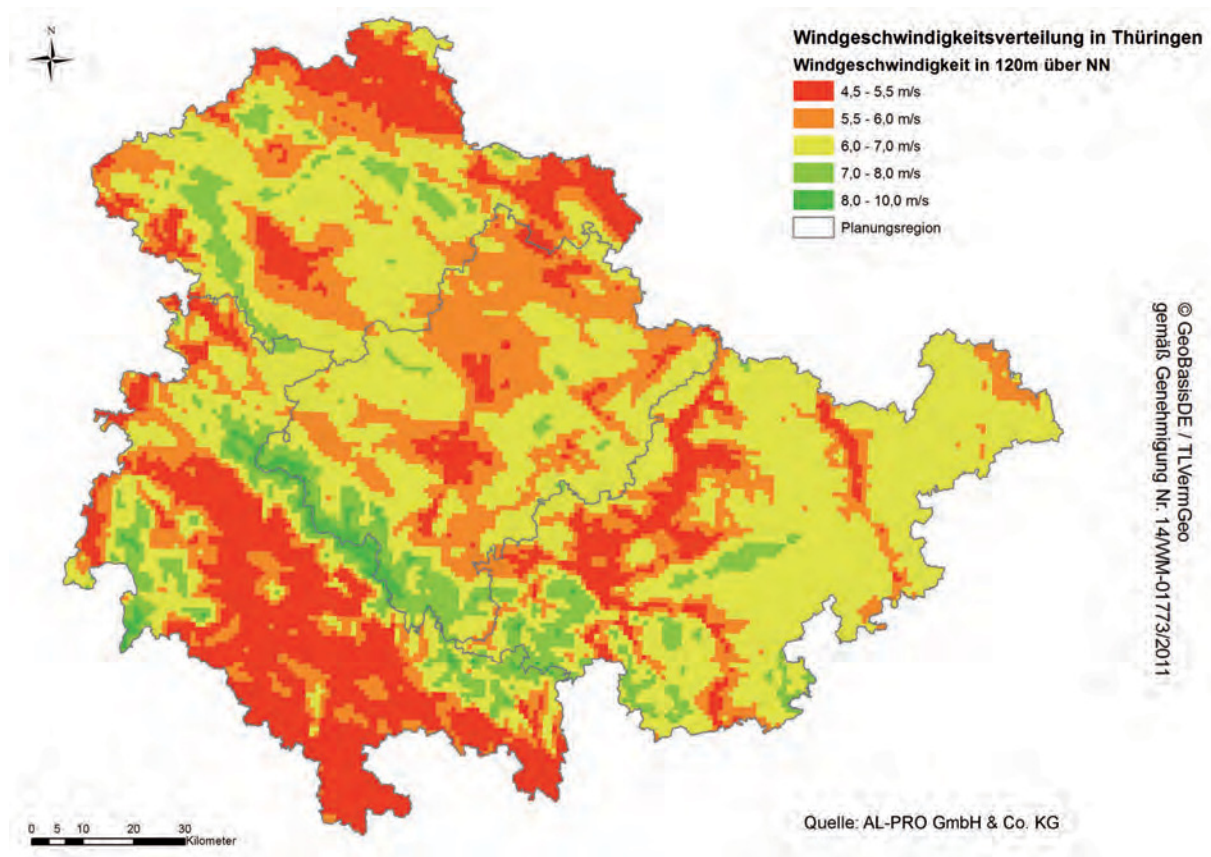
Karte 1 Landkreise und kreisfreie Städte in Thüringen



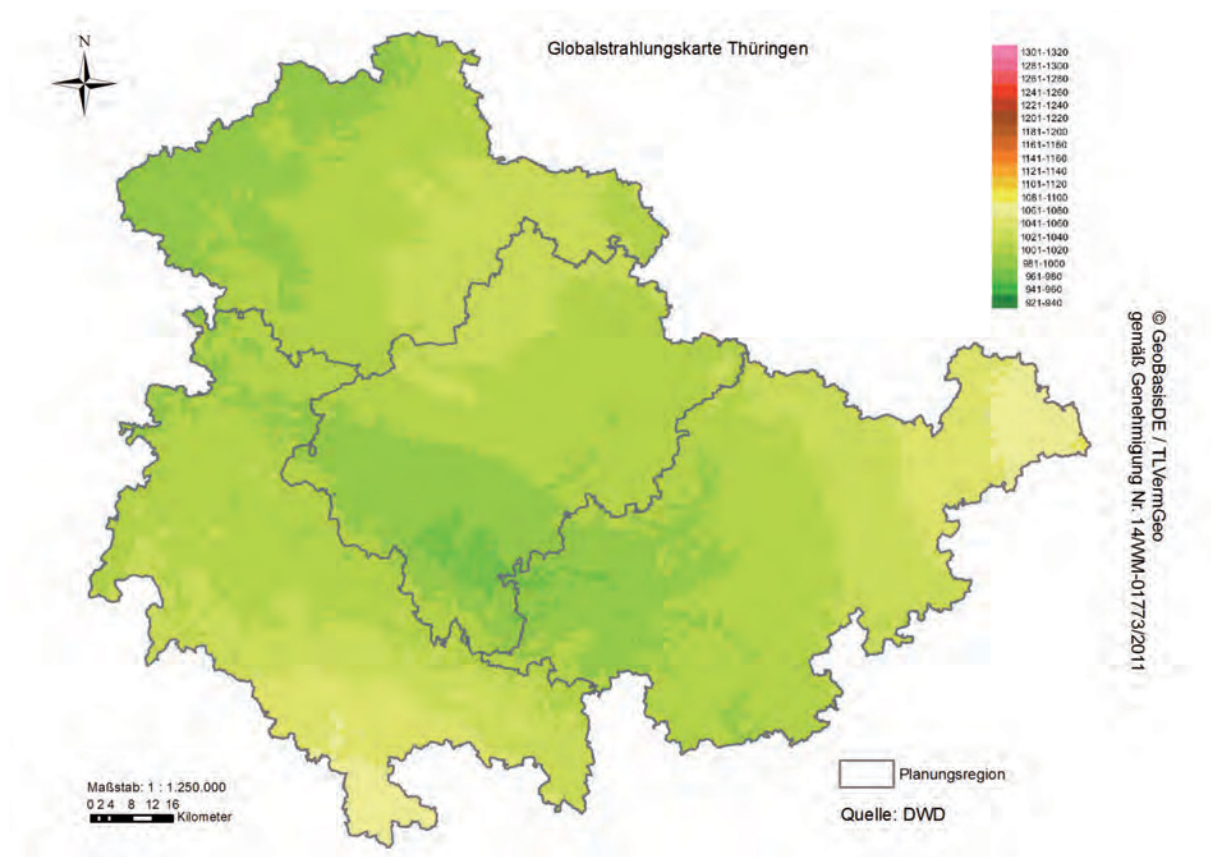
Karte 2 Einteilung des Freistaates Thüringen in Siedlungsraumtypen



Karte 3 Windgeschwindigkeitsverteilung in Thüringen in 120m über NN

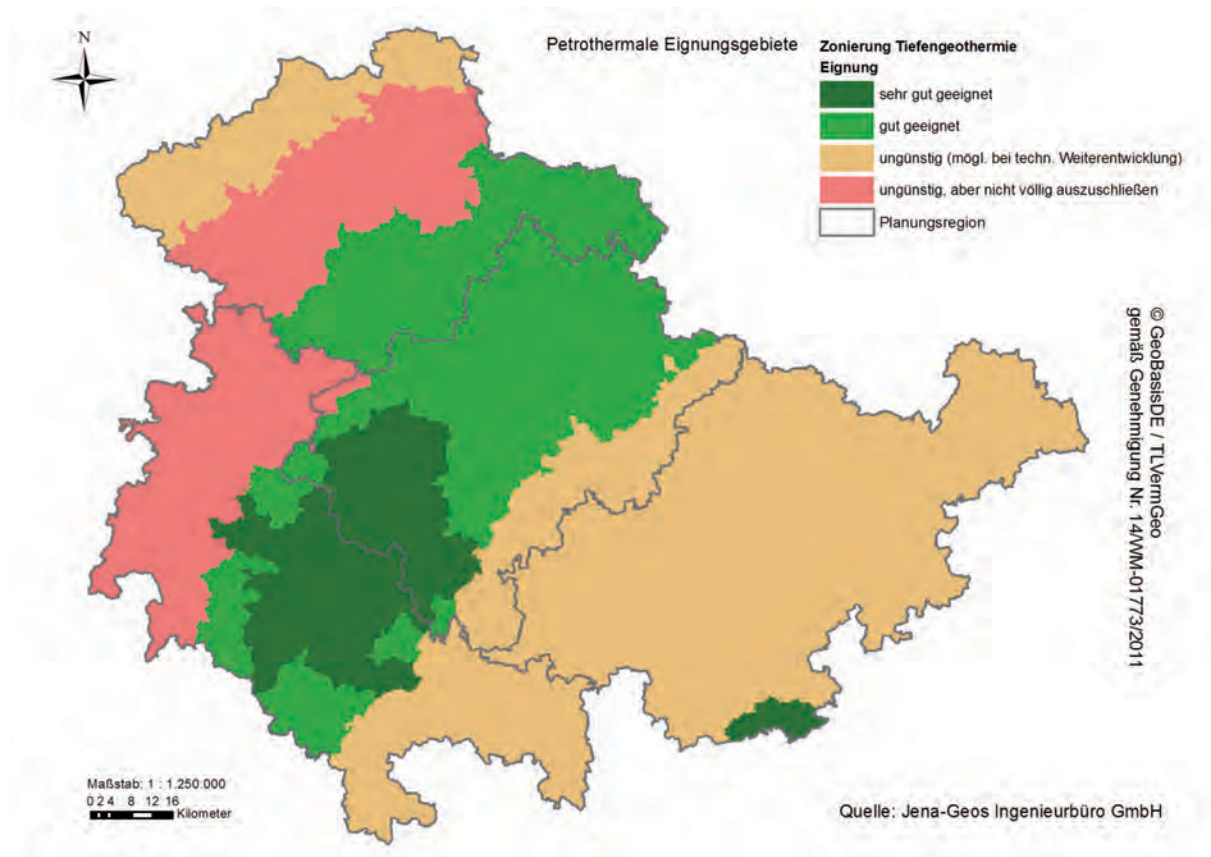


Karte 4 Globalstrahlung in Thüringen





Karte 5 Petrothermale Eignungsgebiete in Thüringen



Karte 6 Größere Fließgewässer in Thüringen

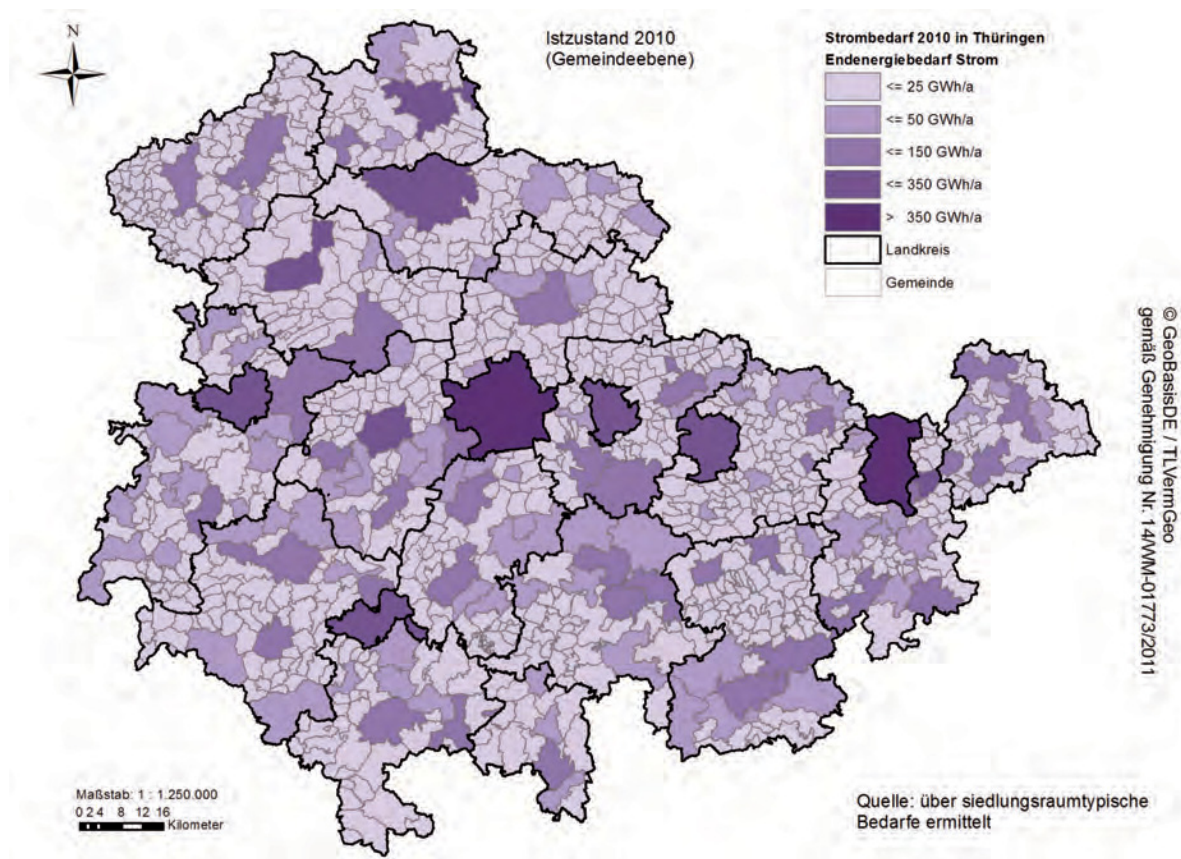


Karte 7 Die Naturräume Thüringens

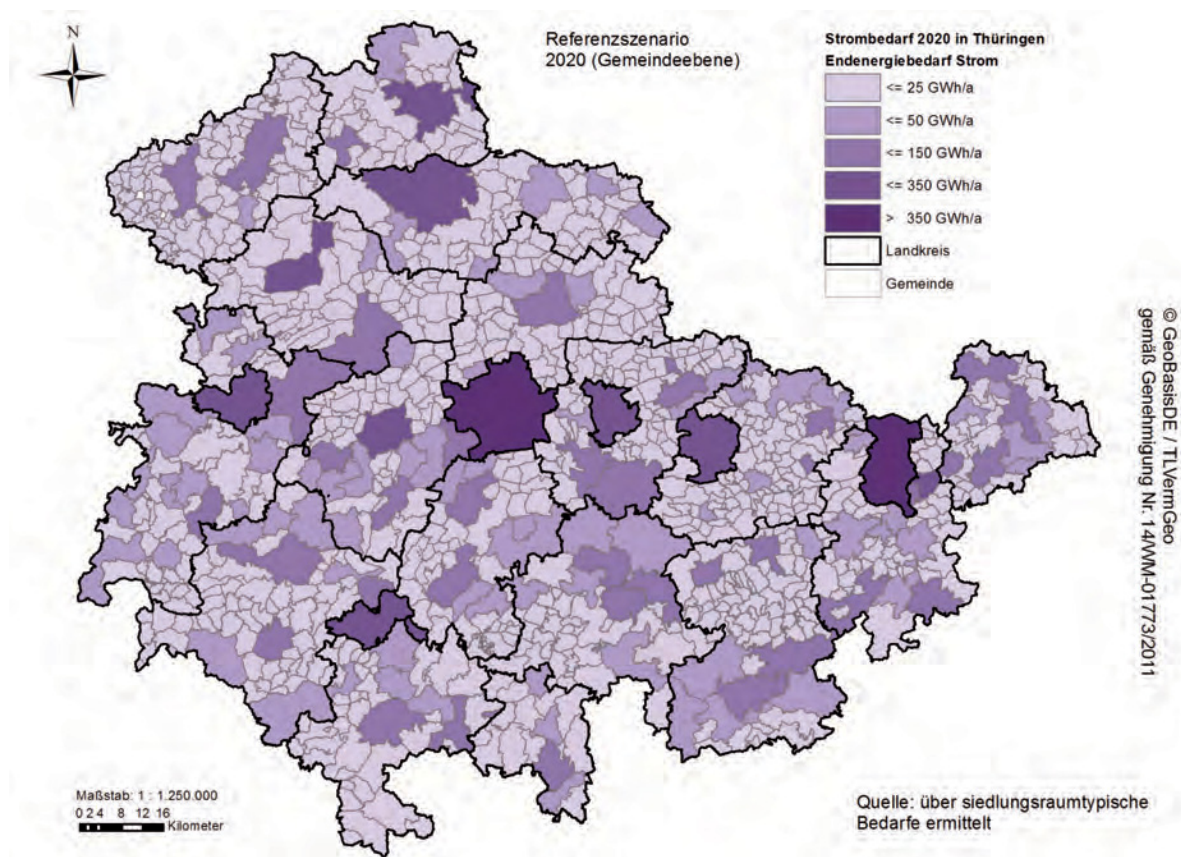




Karte 8 Aktueller Strombedarf auf Gemeindeebene

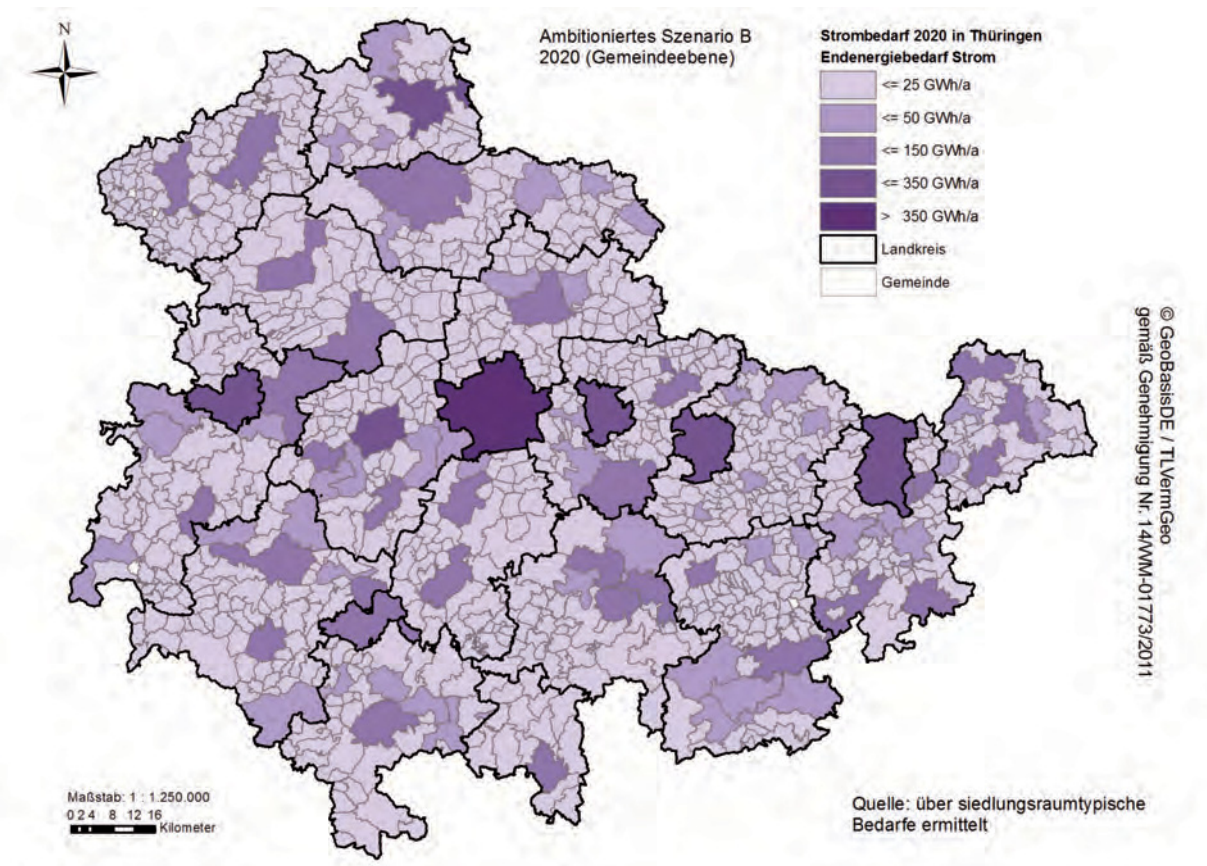


Karte 9 Strombedarf im Referenzszenario auf Gemeindeebene im Jahr 2020

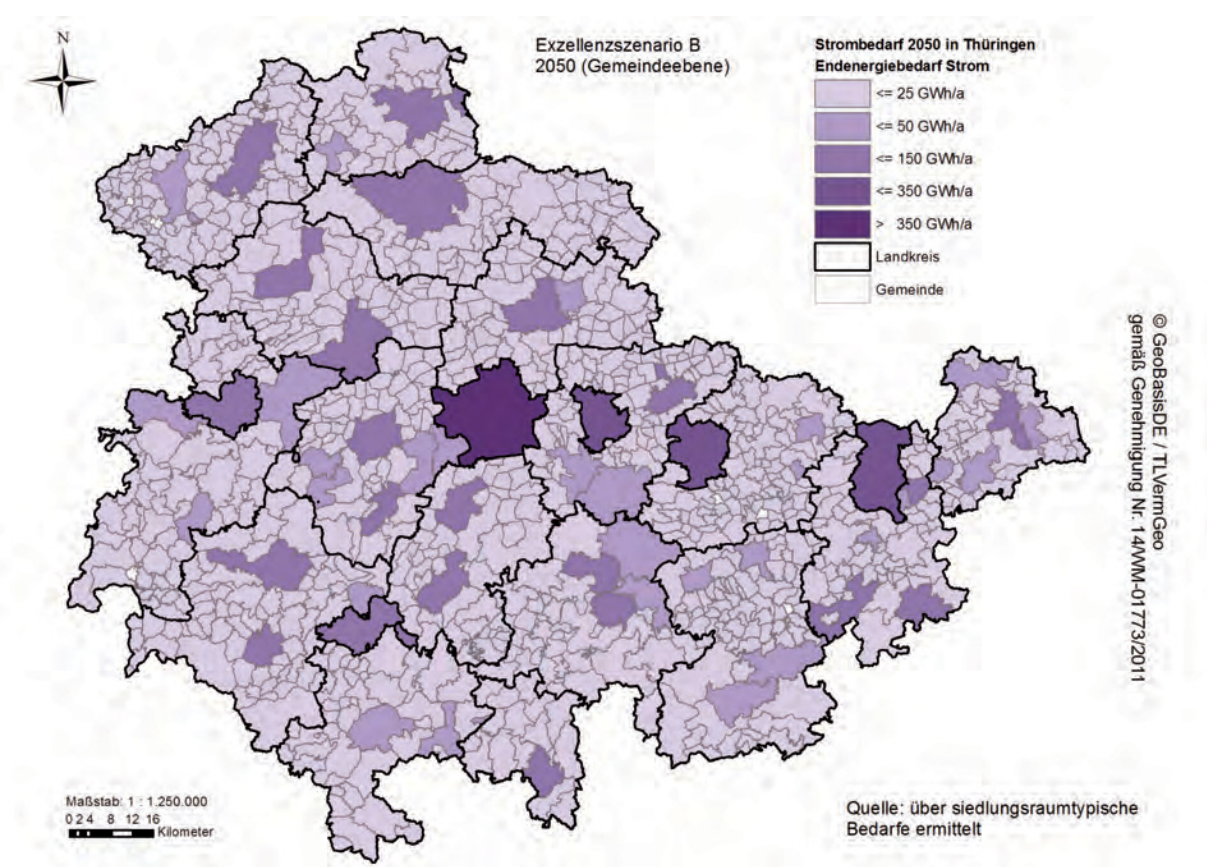




Karte 10 Strombedarf im Ambitionierten Szenario B auf Gemeindeebene im Jahr 2020

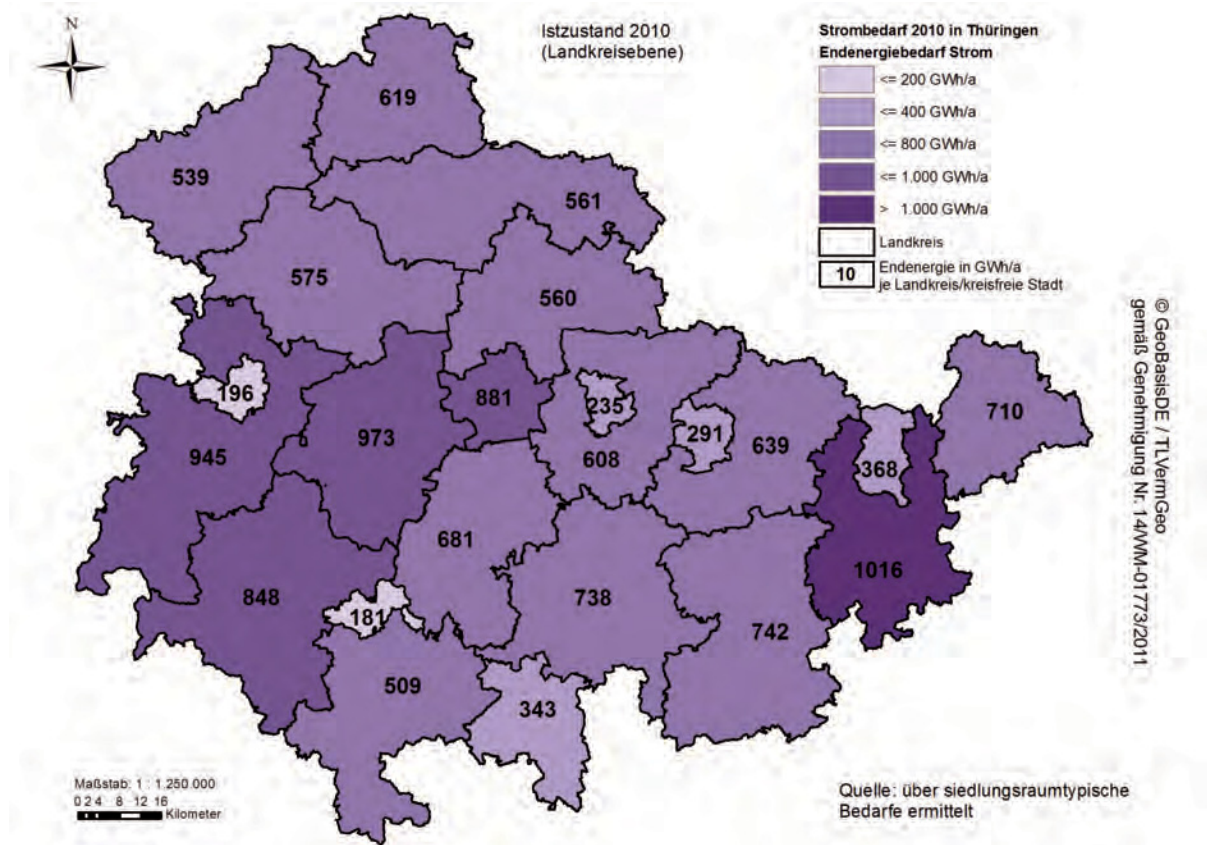


Karte 11 Strombedarf im Exzellenzszenario B auf Gemeindeebene im Jahr 2050

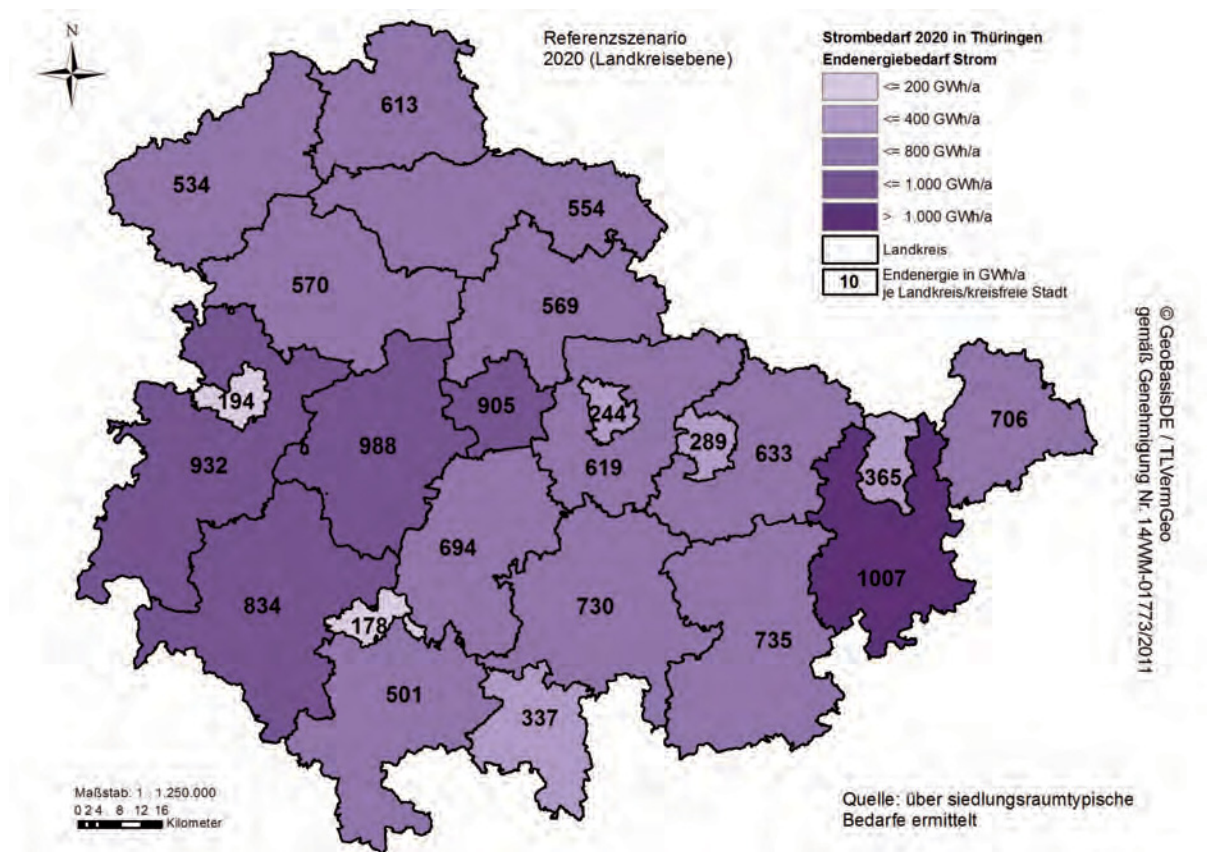




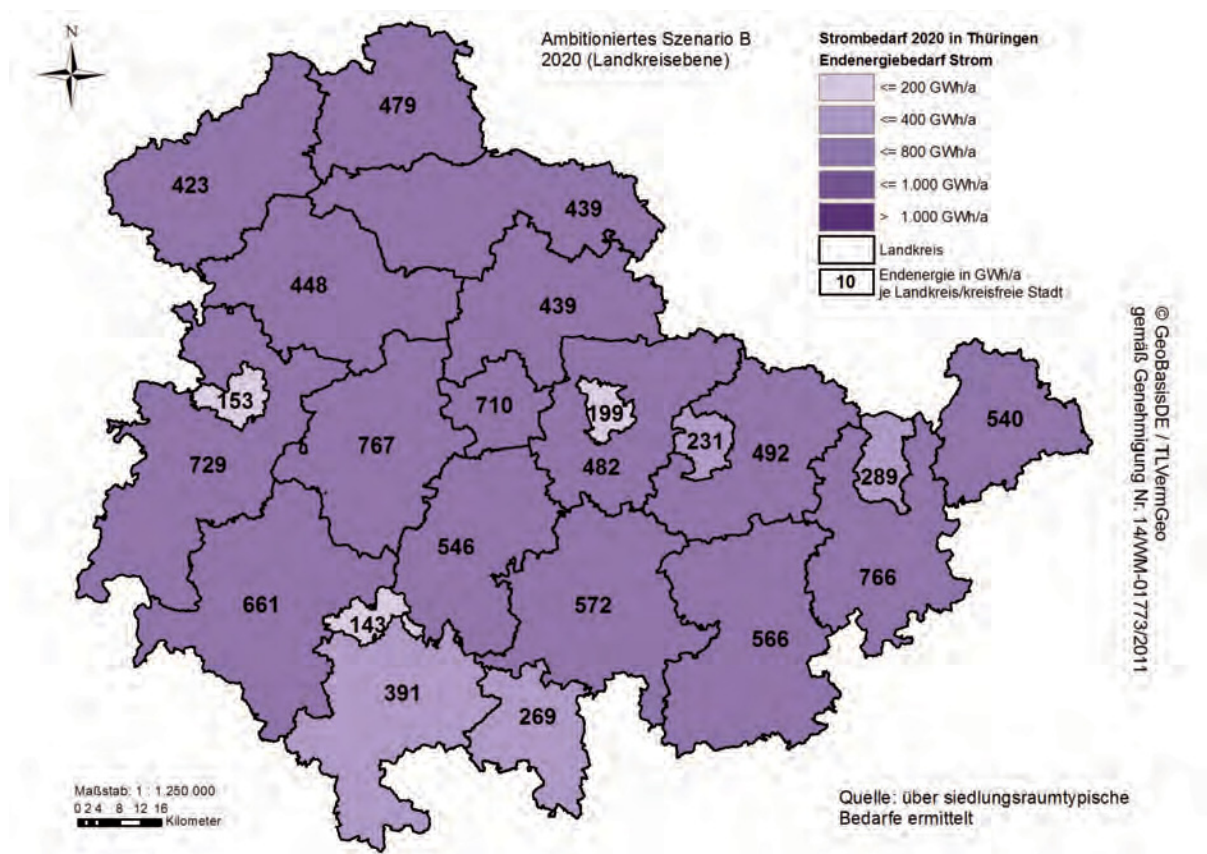
Karte 12 Aktueller Strombedarf auf Landkreisebene



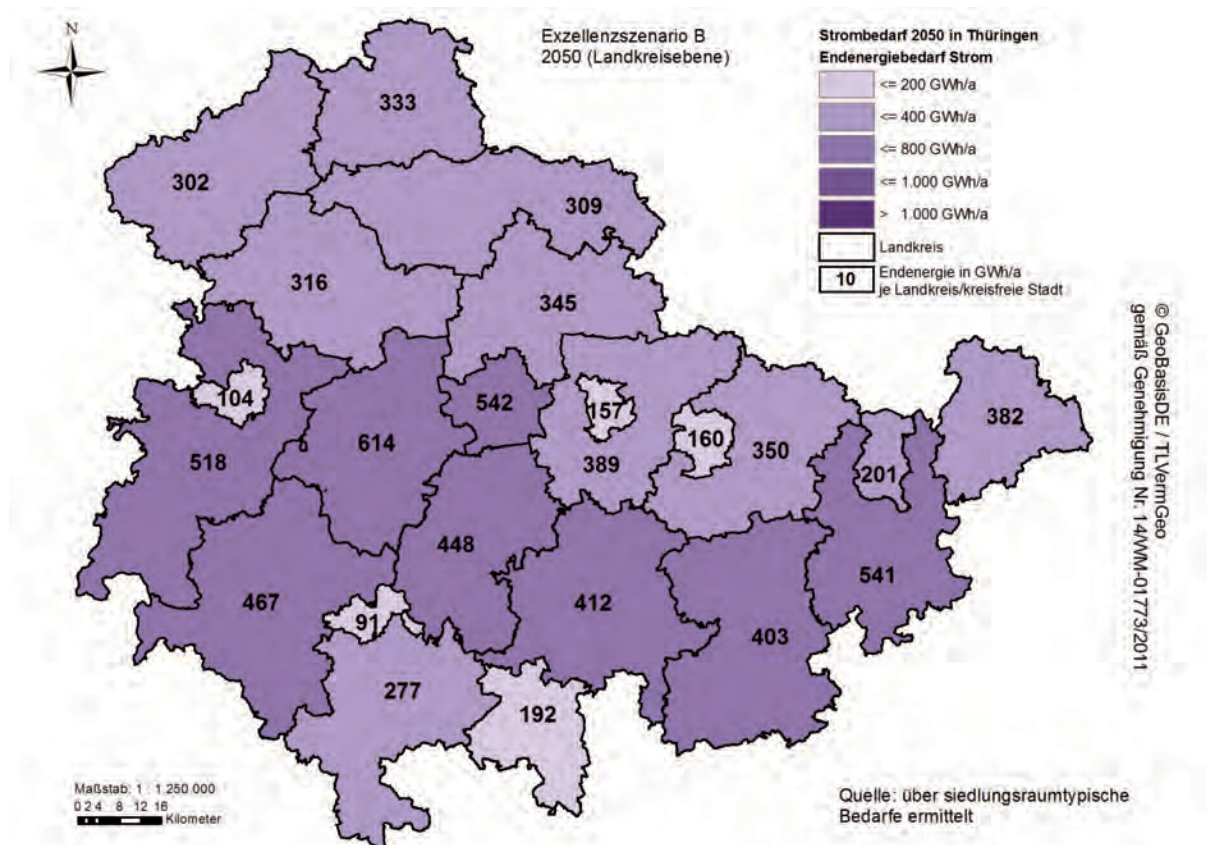
Karte 13 Strombedarf im Referenzszenario auf Landkreisebene im Jahr 2020



Karte 14 Strombedarf im Ambitionierten Szenario B auf Landkreisebene im Jahr 2020

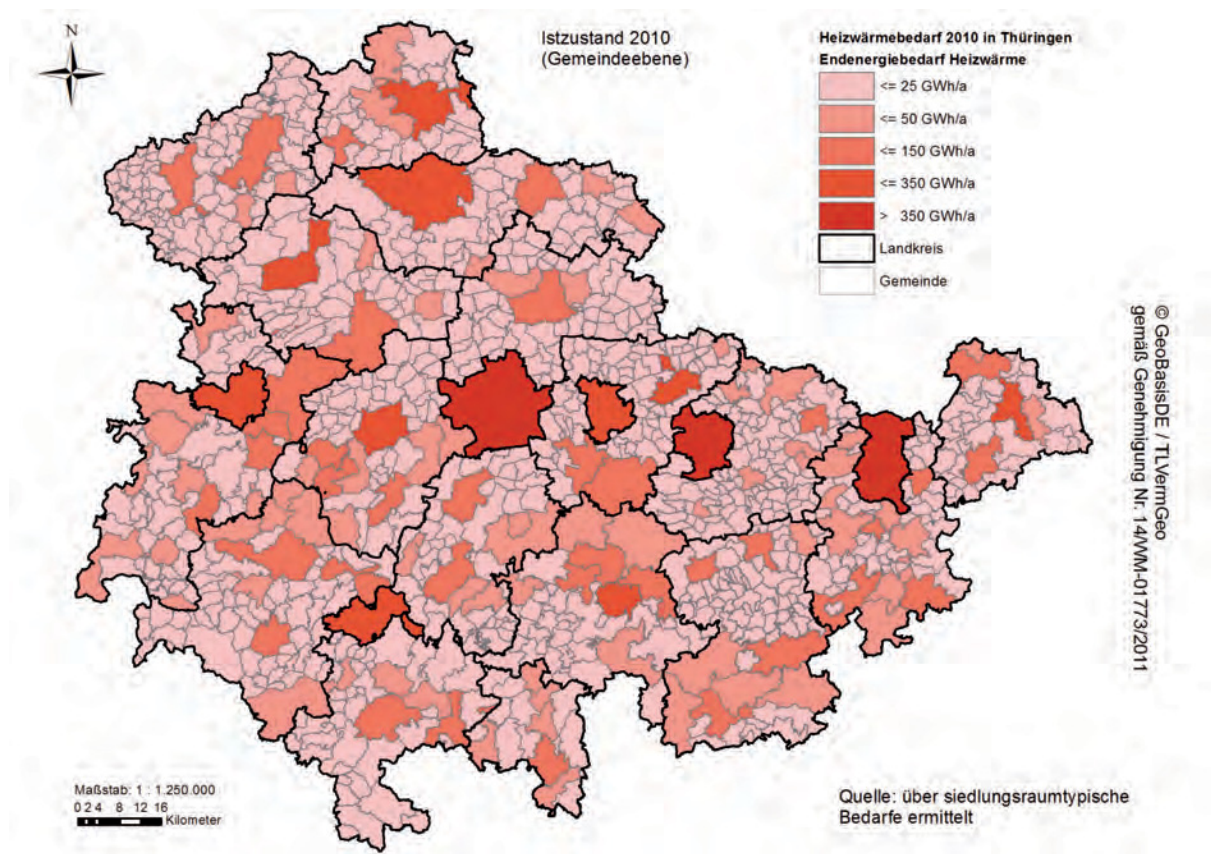


Karte 15 Strombedarf im Exzellenzszenario B auf Landkreisebene im Jahr 2050

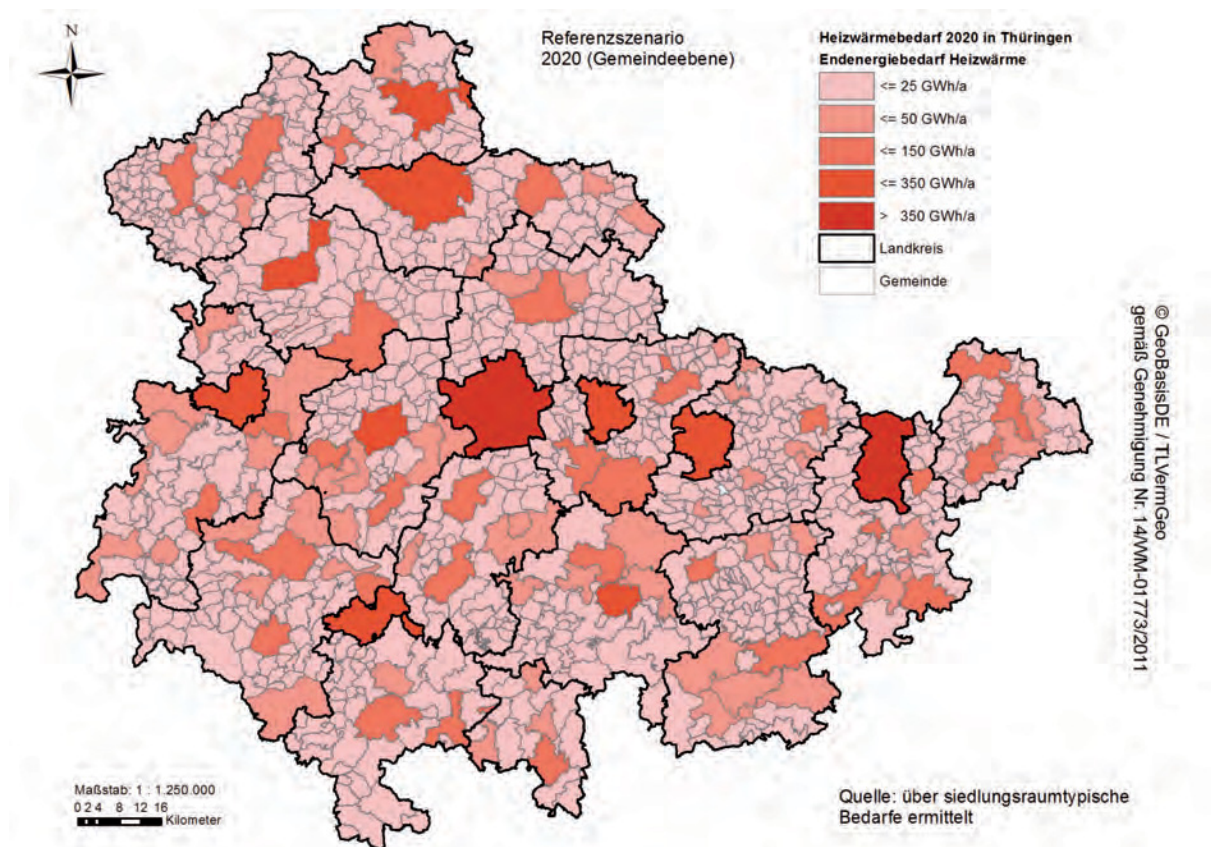




Karte 16 Aktueller Heizwärmebedarf auf Gemeindeebene

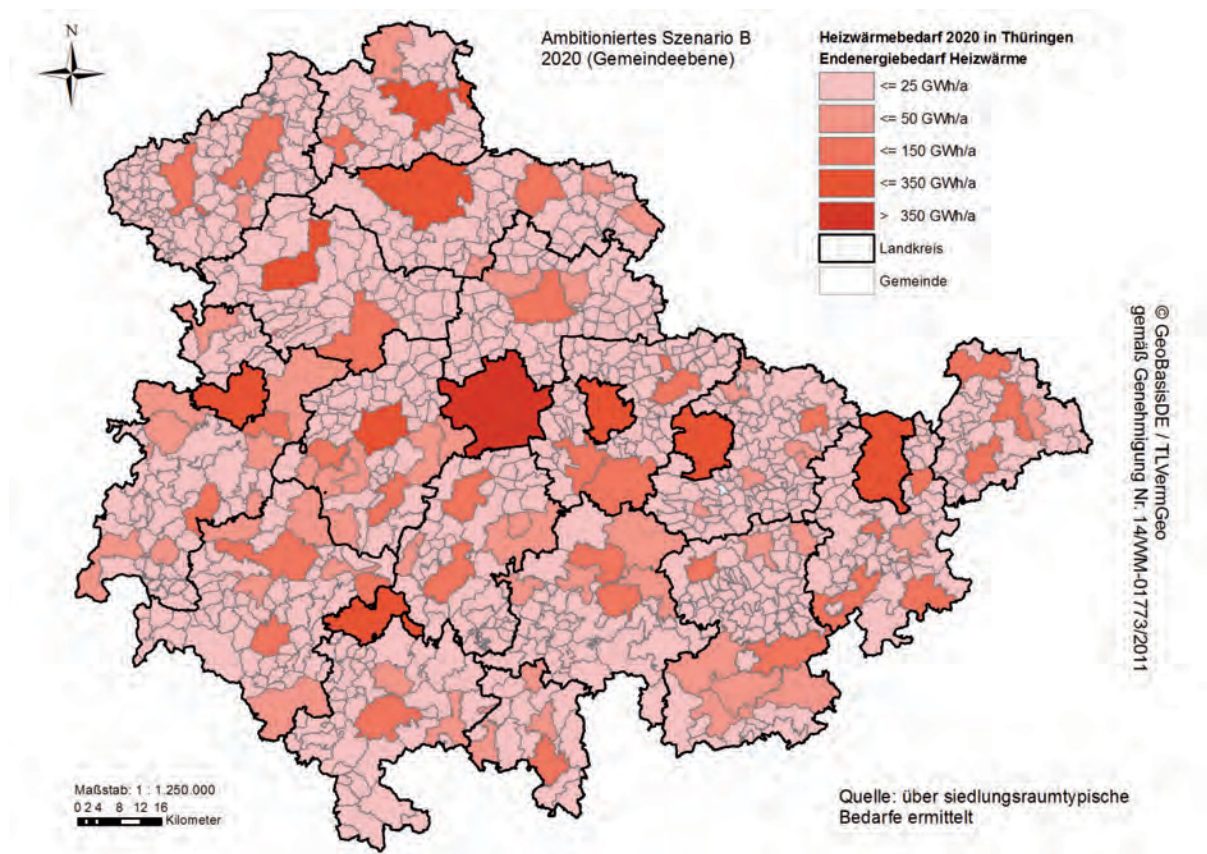


Karte 17 Heizwärmebedarf im Referenzszenario auf Gemeindeebene im Jahr 2020

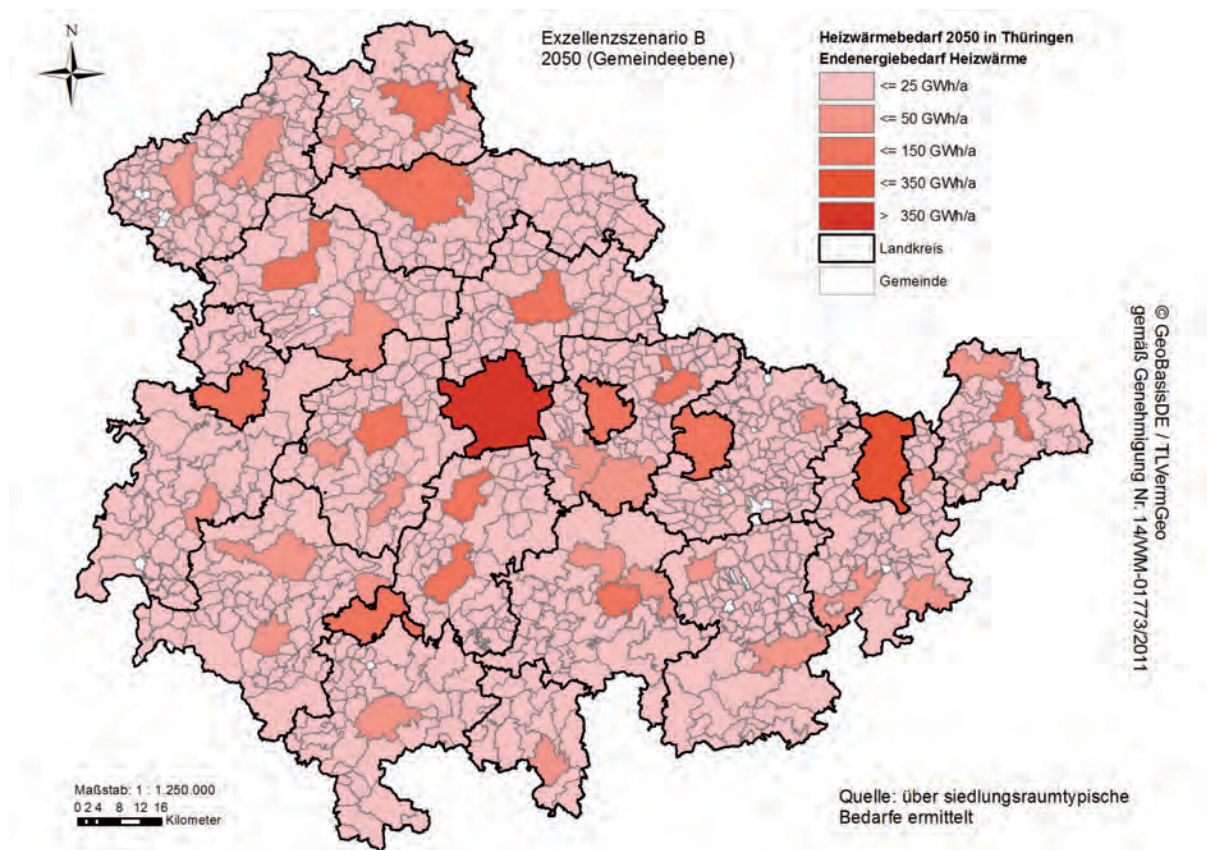




Karte 18 Heizwärmebedarf im Ambitionierten Szenario B auf Gemeindeebene (2020)

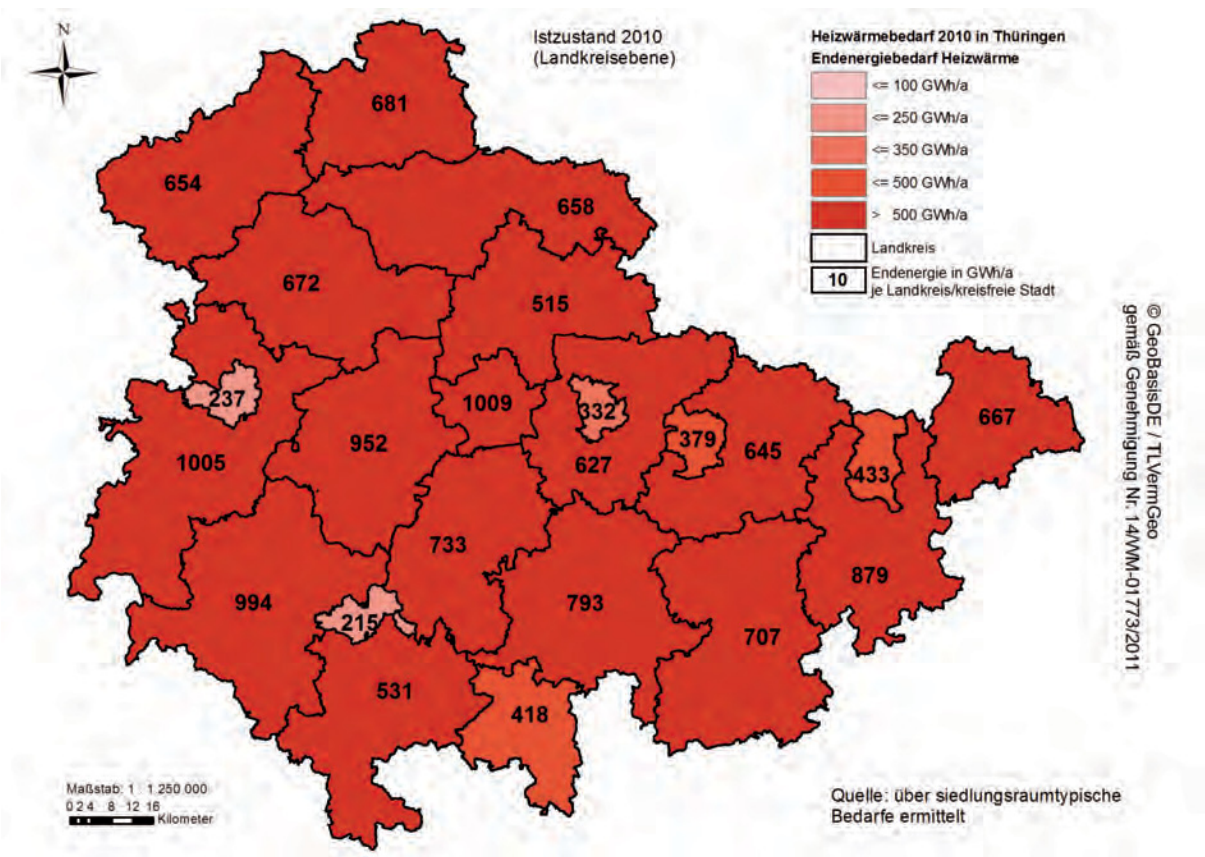


Karte 19 Heizwärmebedarf im Exzellenzszenario B auf Gemeindeebene im Jahr 2050



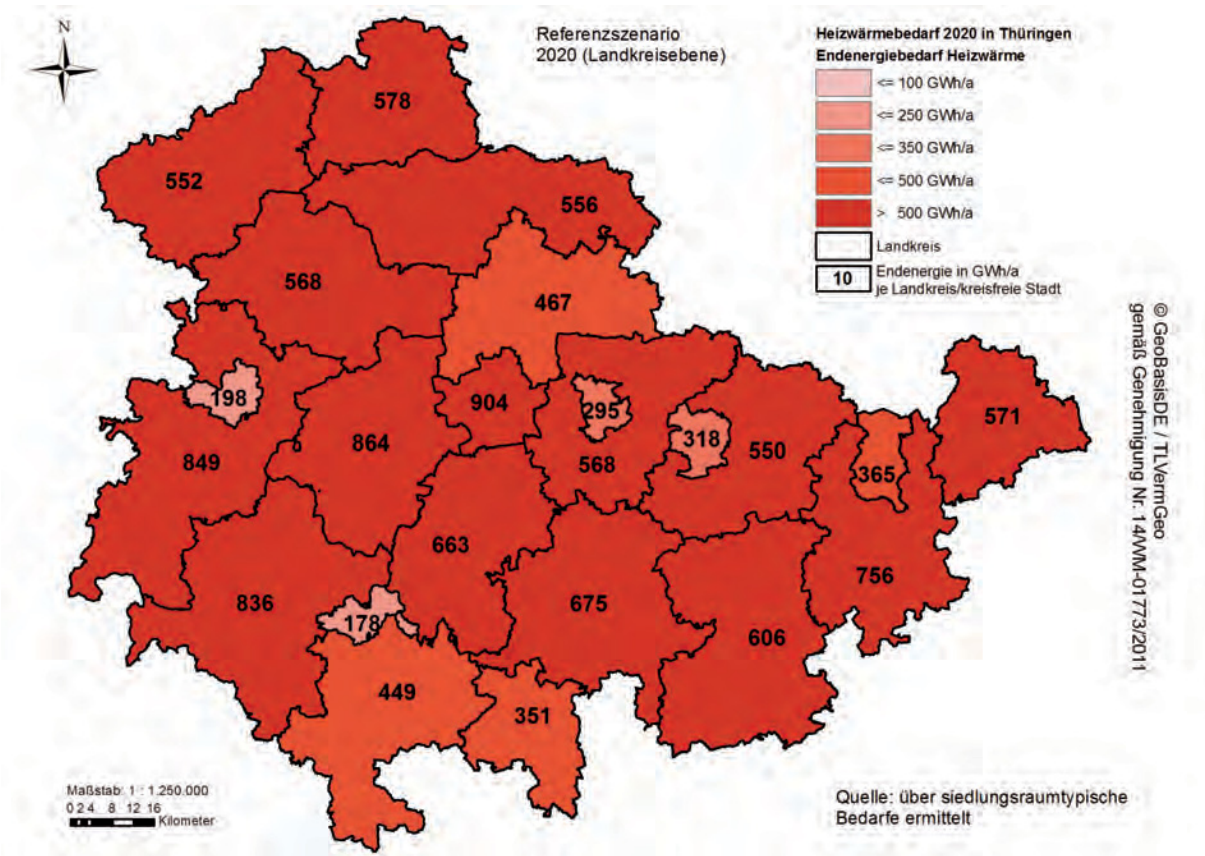


Karte 20 Aktueller Heizwärmebedarf auf Landkreisebene



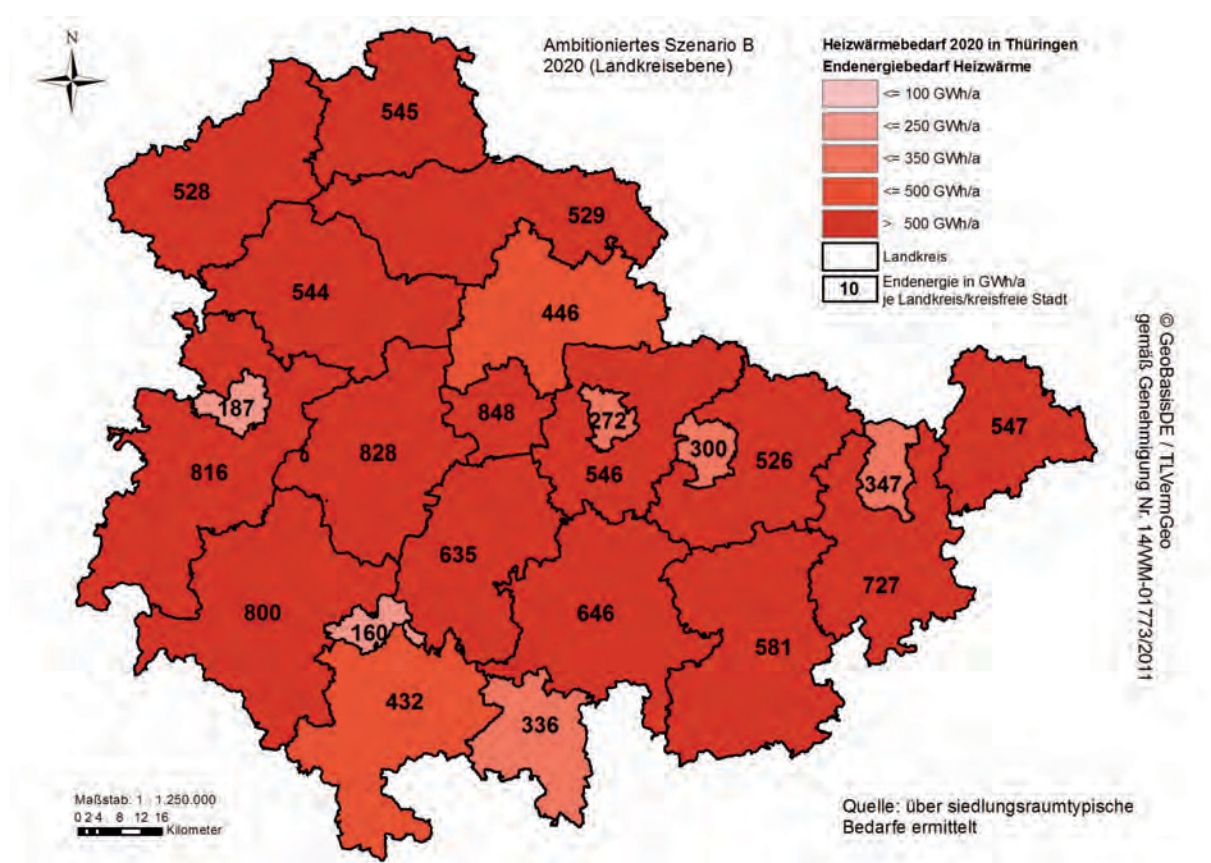
Karte

21 Heizwärmebedarf im Referenzszenario auf Landkreisebene im Jahr 2020

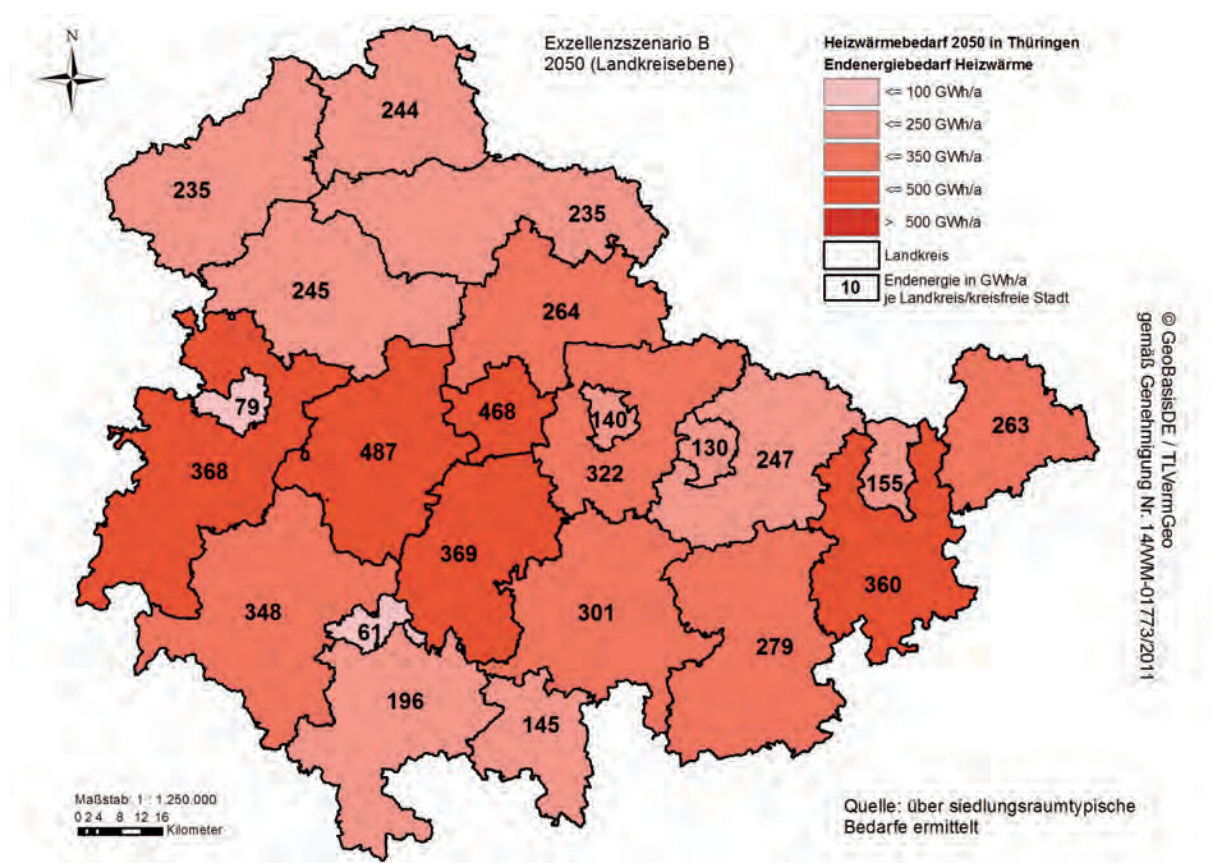




Karte 22 Heizwärmebedarf im Ambitionierten Szenario B auf Landkreisebene im Jahr 2020

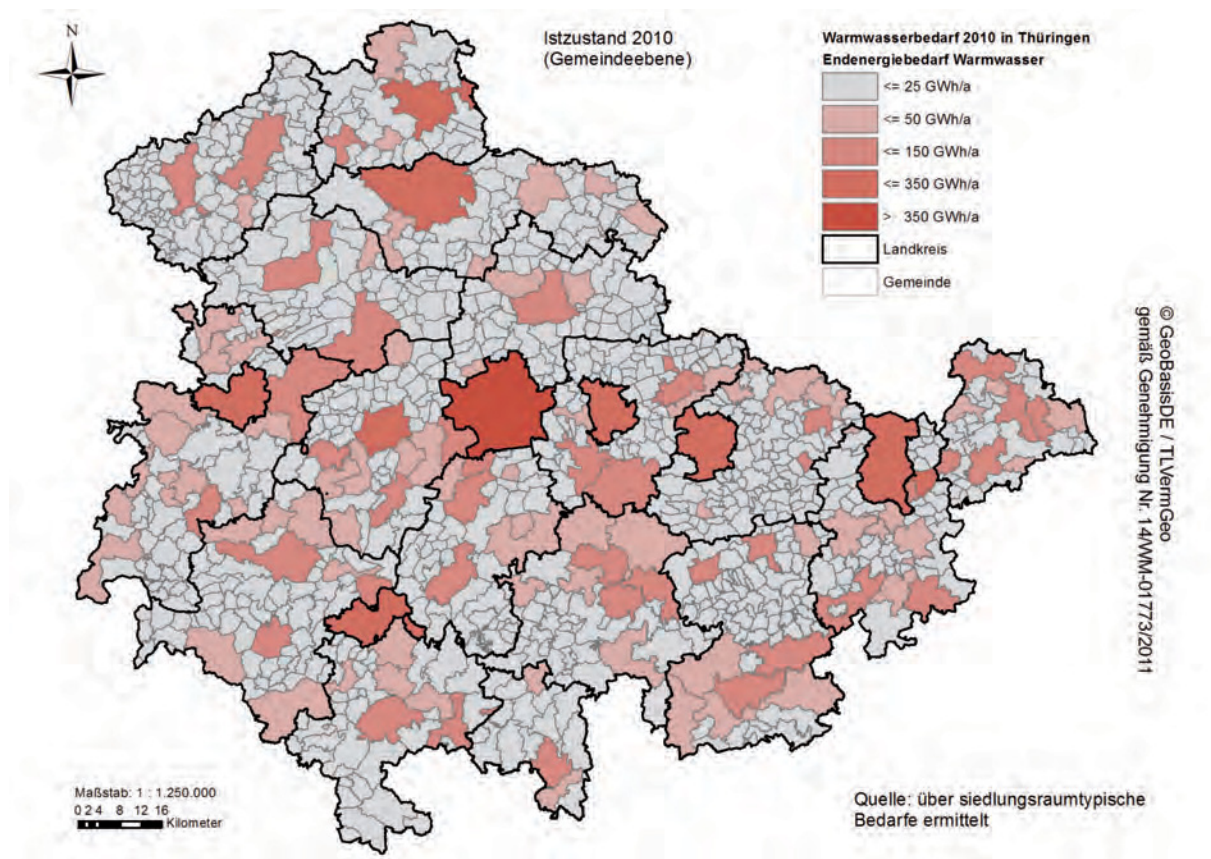


Karte 23 Heizwärmebedarf im Exzellenzszenario B auf Landkreisebene im Jahr 2050

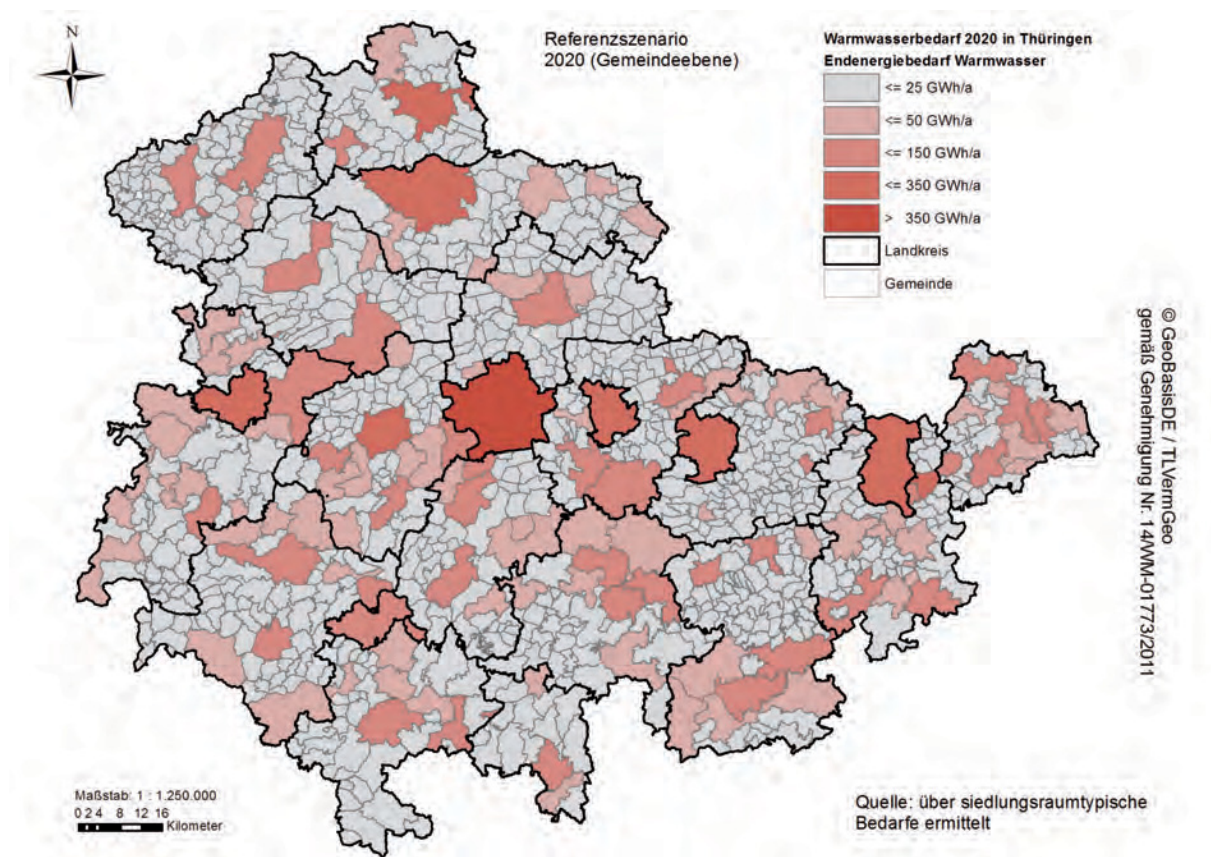




Karte 24 Aktueller Warmwasserbedarf auf Gemeindeebene

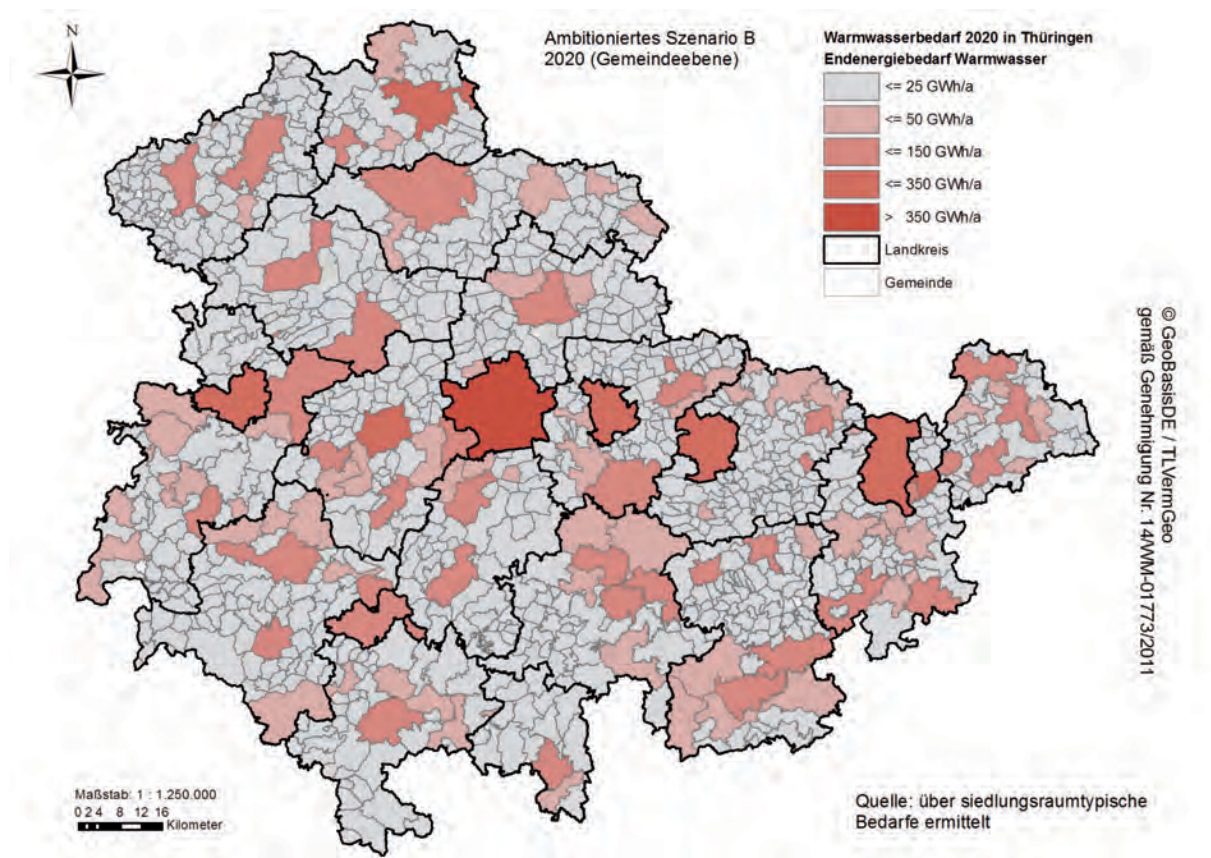


Karte 25 Warmwasserbedarf im Referenzszenario auf Gemeindeebene im Jahr 2020

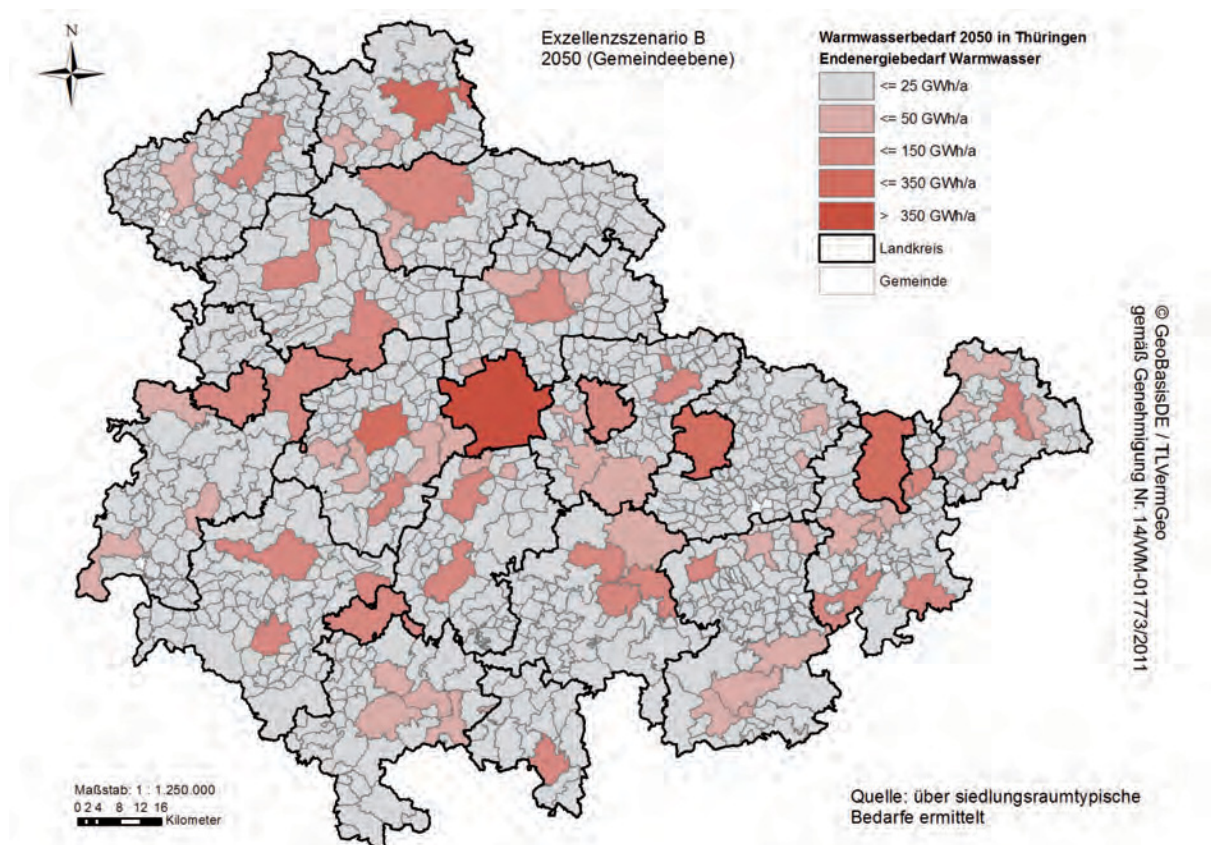




Karte 26 Warmwasserbedarf im Ambitionierten Szenario B auf Gemeindeebene im Jahr 2020

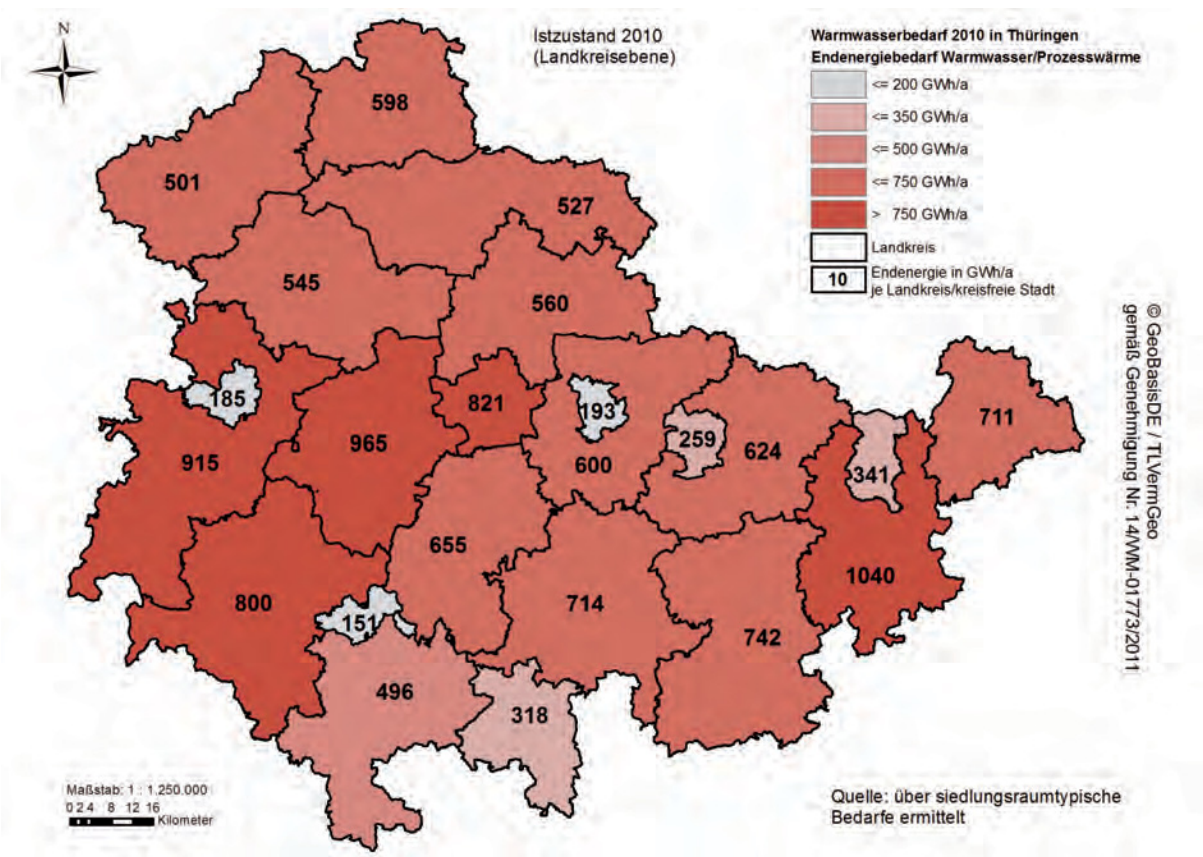


Karte 27 Warmwasserbedarf im Exzellenzszenario B auf Gemeindeebene im Jahr 2050

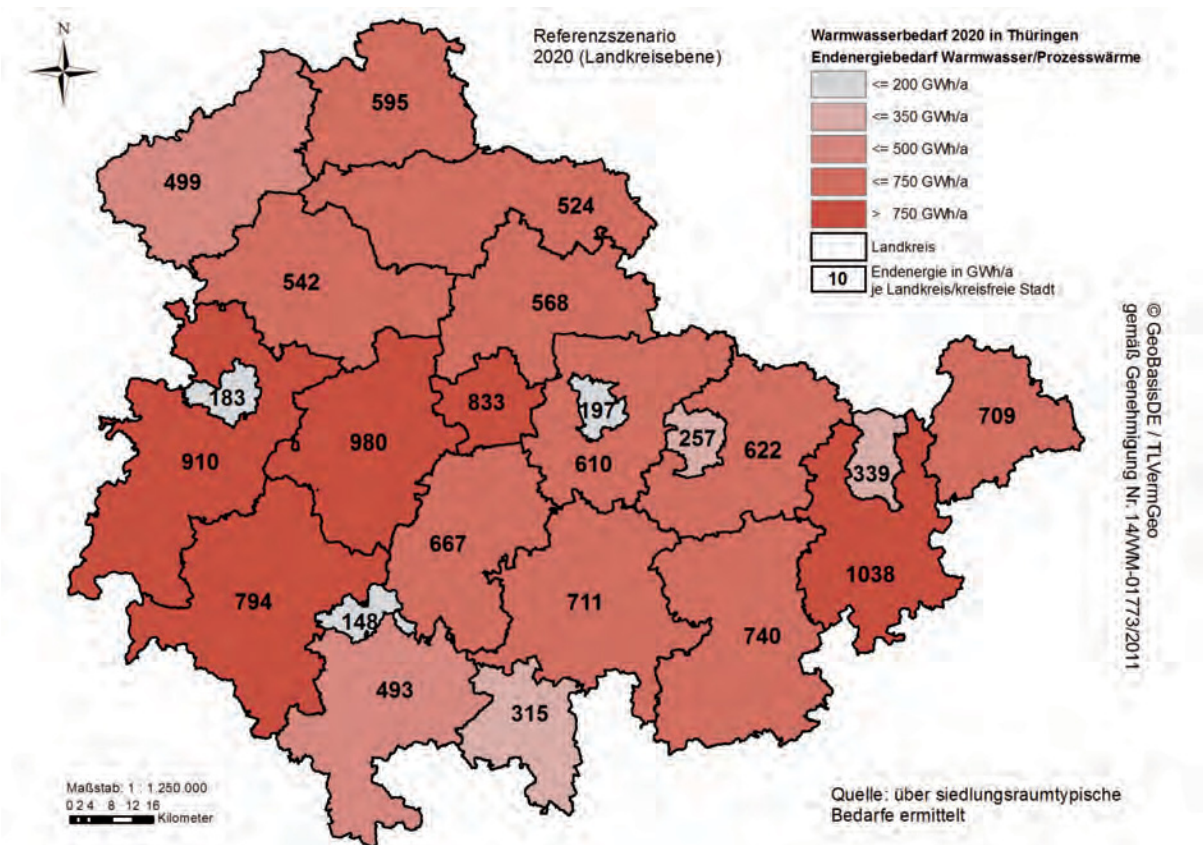




Karte 28 Aktueller Warmwasserbedarf auf Landkreisebene

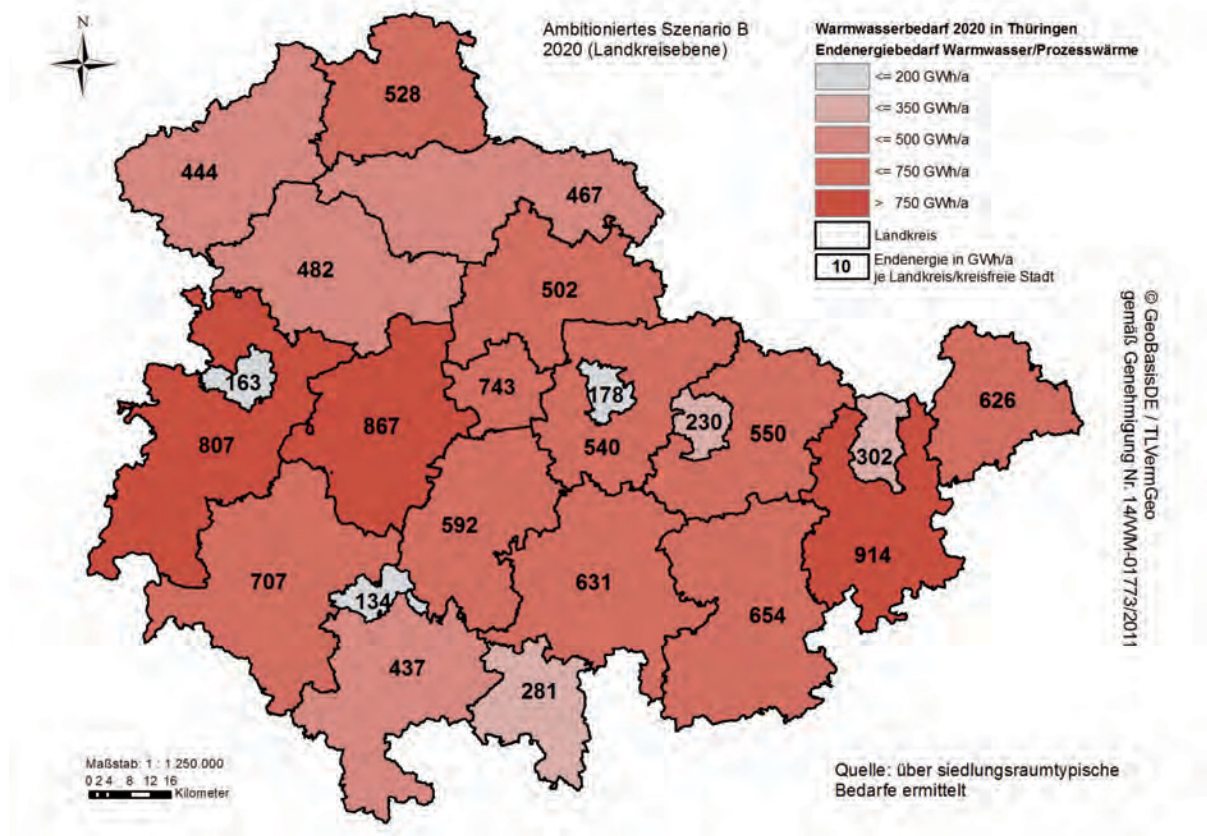


Karte 29 Warmwasserbedarf im Referenzszenario auf Landkreisebene im Jahr 2020

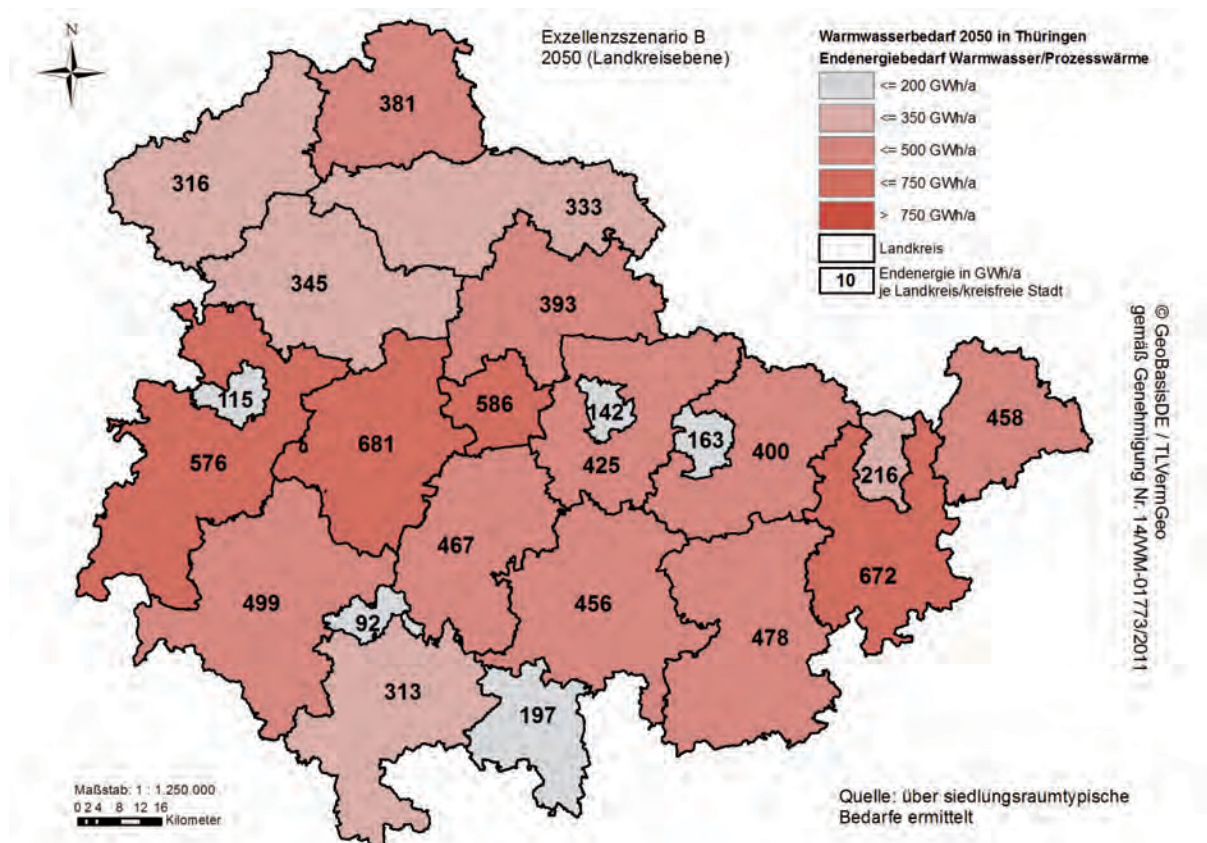




Karte 30 Warmwasserbedarf im Ambitionierten Szenario B auf Landkreisebene im Jahr 2020

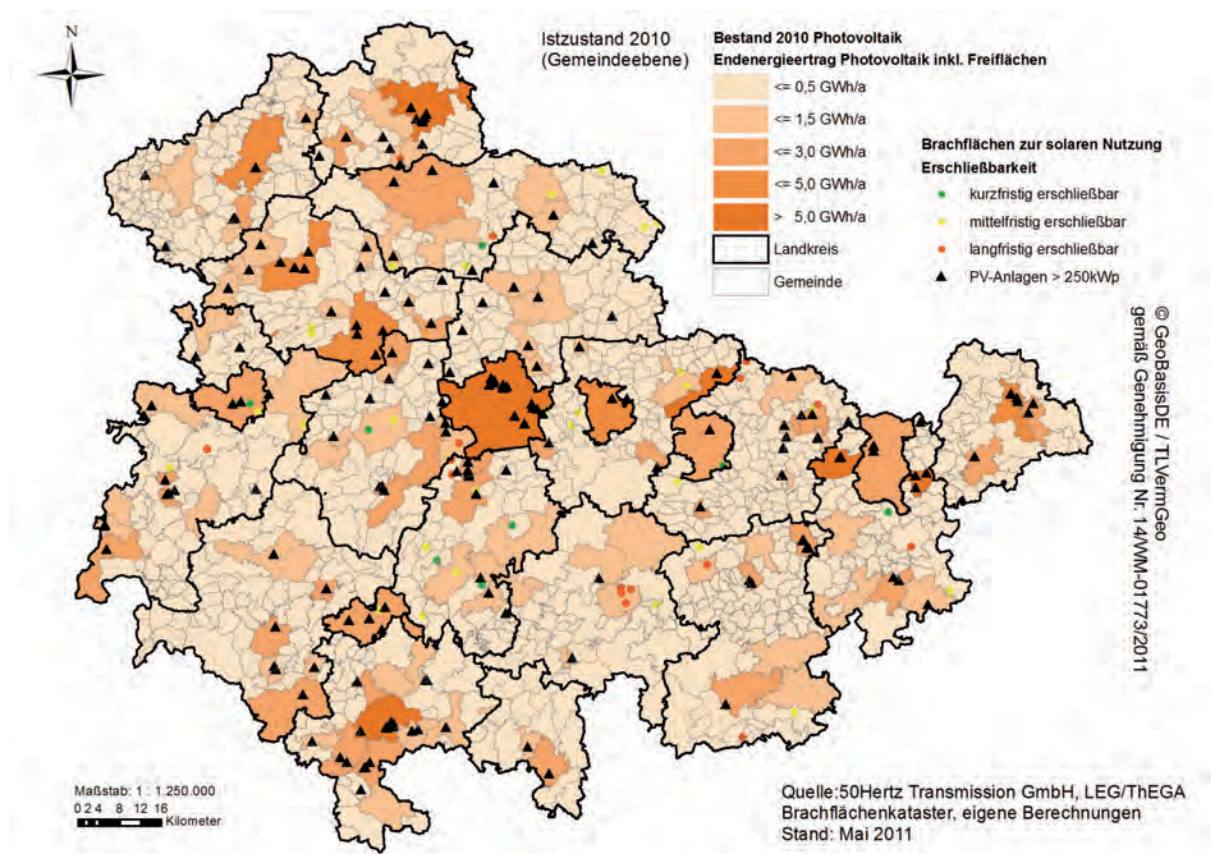


Karte 31 Warmwasserbedarf im Exzellenzszenario B auf Landkreisebene im Jahr 2050

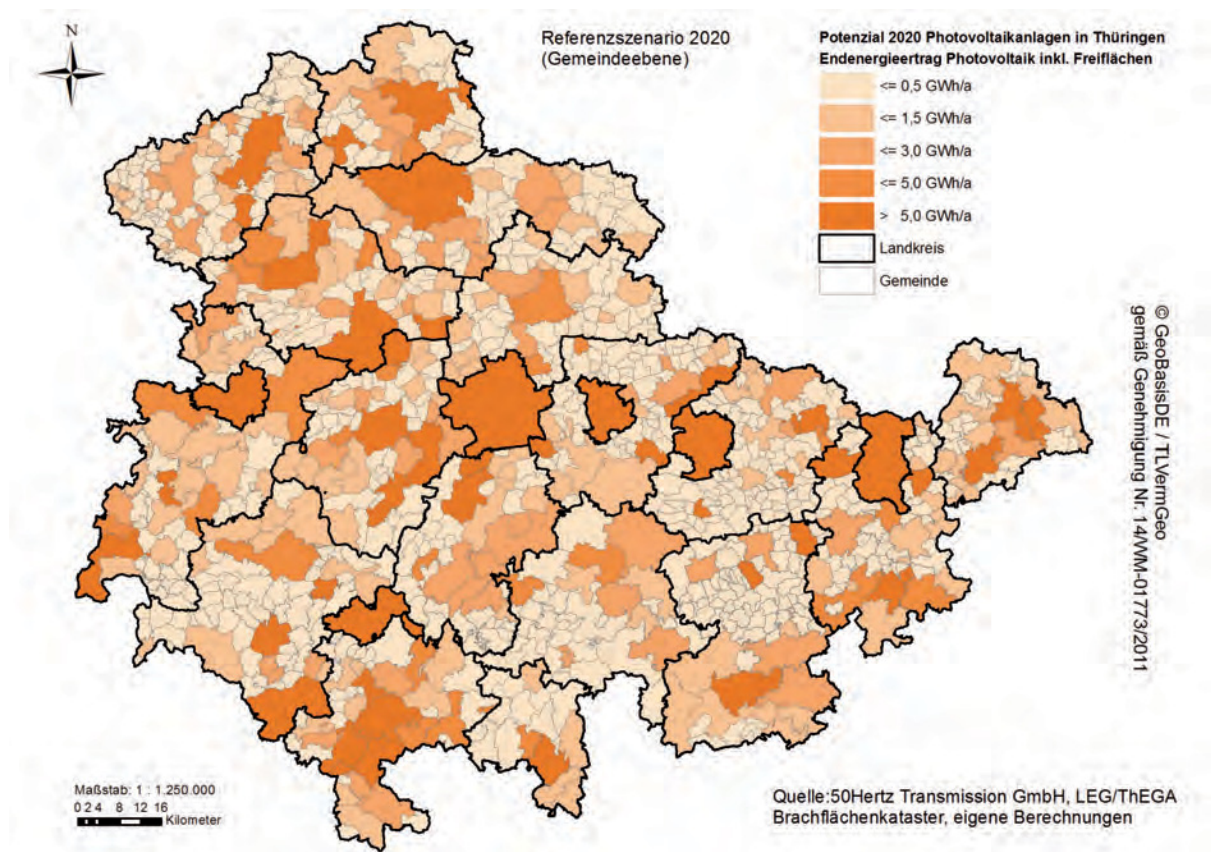




Karte 32 Aktueller Stand der Nutzung – Photovoltaik auf Gemeindeebene

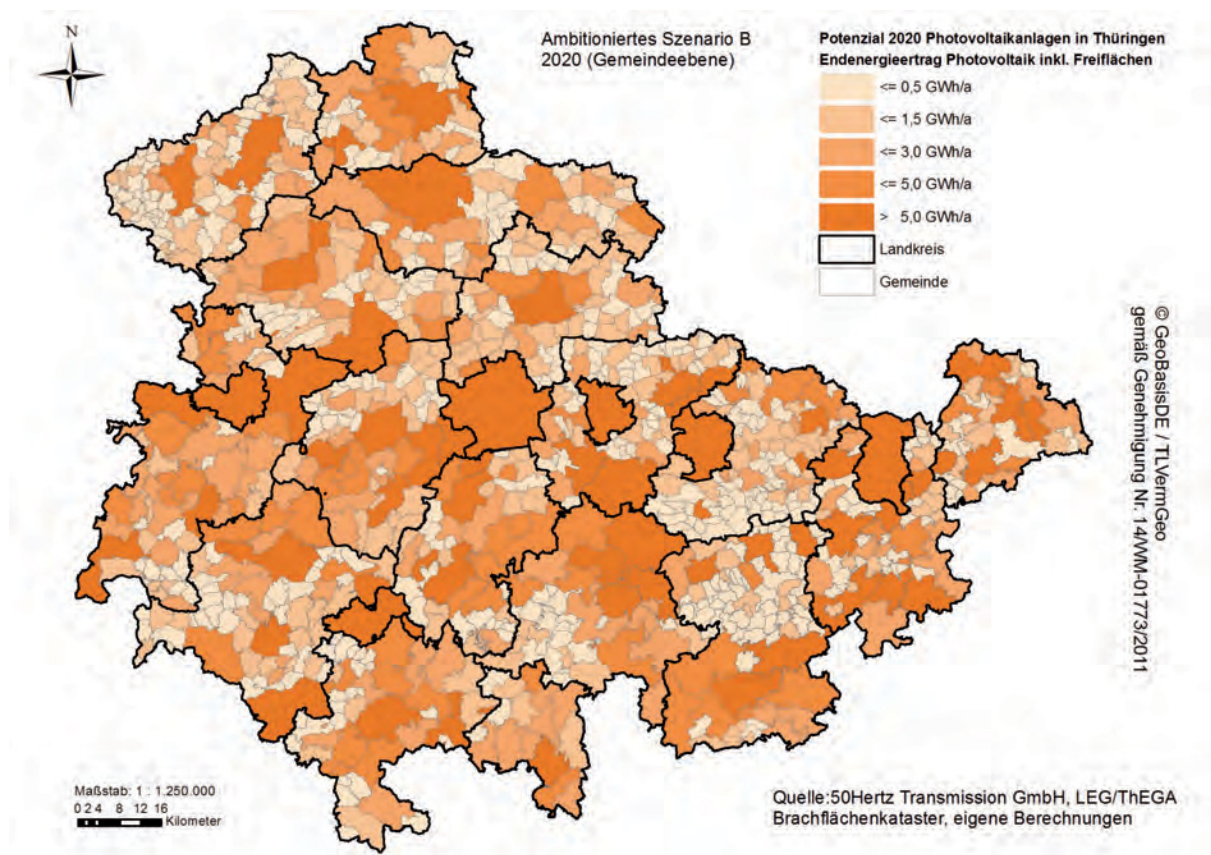


Karte 33 Potenziale der Photovoltaik im Referenzszenario auf Gemeindeebene im Jahr 2020

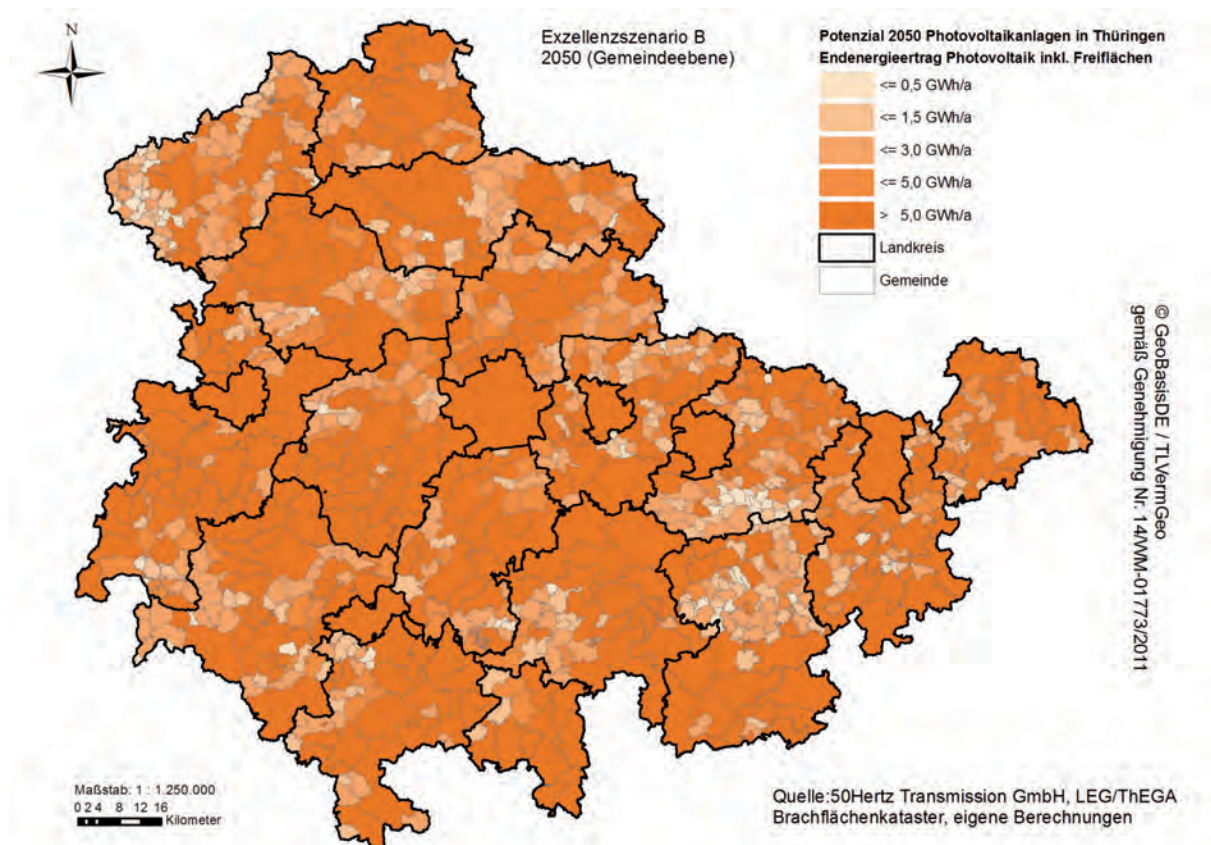




Karte 34 Potenziale der Photovoltaik im Ambitionierten Szenario B auf Gemeindeebene im Jahr 2020

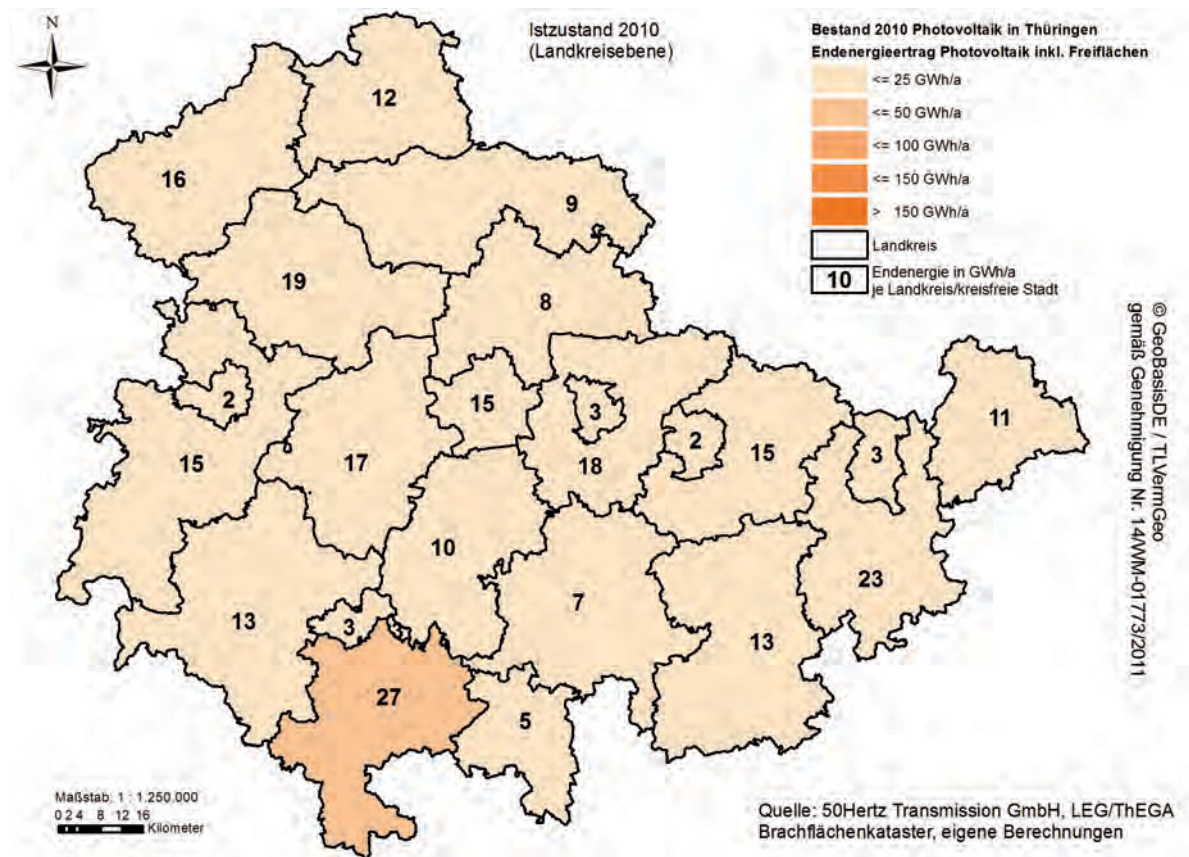


Karte 35 Potenziale der Photovoltaik im Exzellenzszenario B auf Gemeindeebene im Jahr 2050

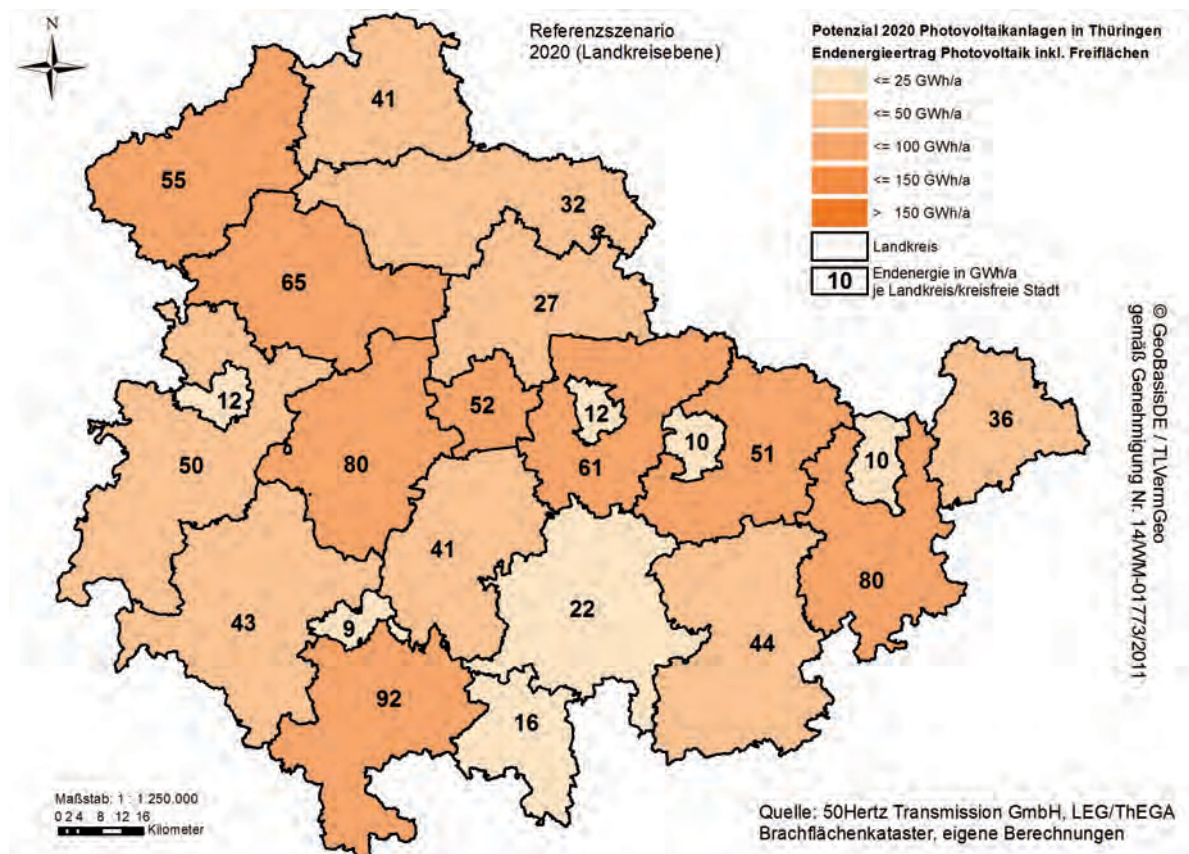




Karte 36 Aktueller Stand der Nutzung – Photovoltaik auf Landkreisebene

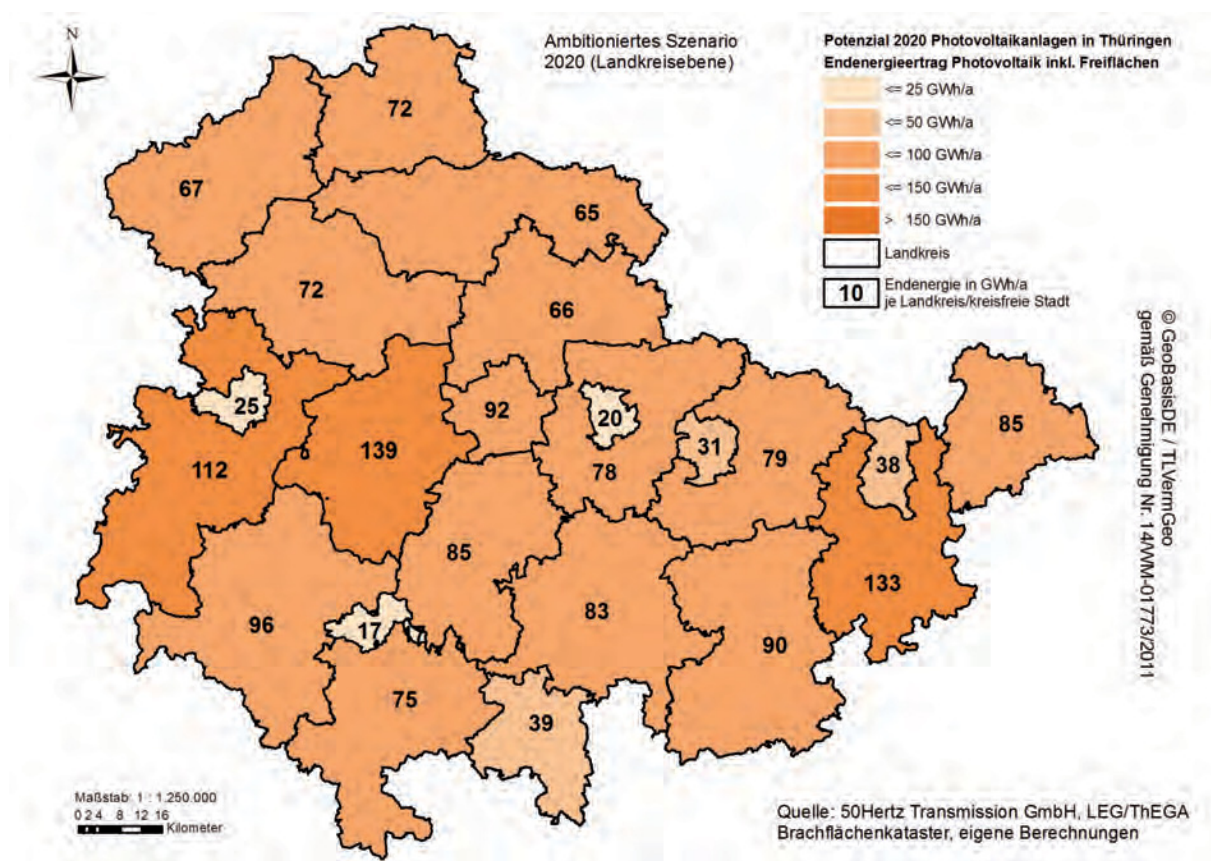


Karte 37 Potenziale der Photovoltaik im Referenzszenario auf Landkreisebene im Jahr 2020

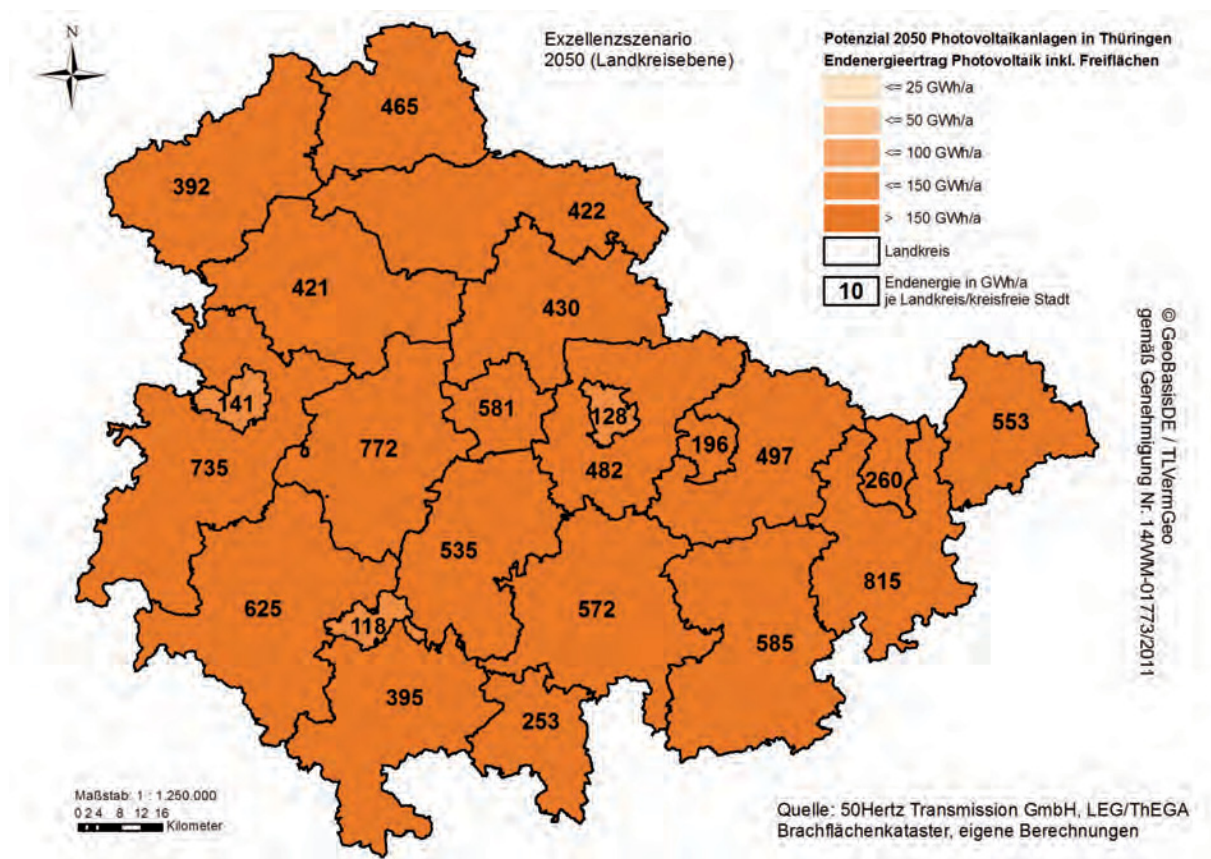




Karte 38 Potenziale der Photovoltaik im Ambitionierten Szenario B auf Landkreisebene im Jahr 2020

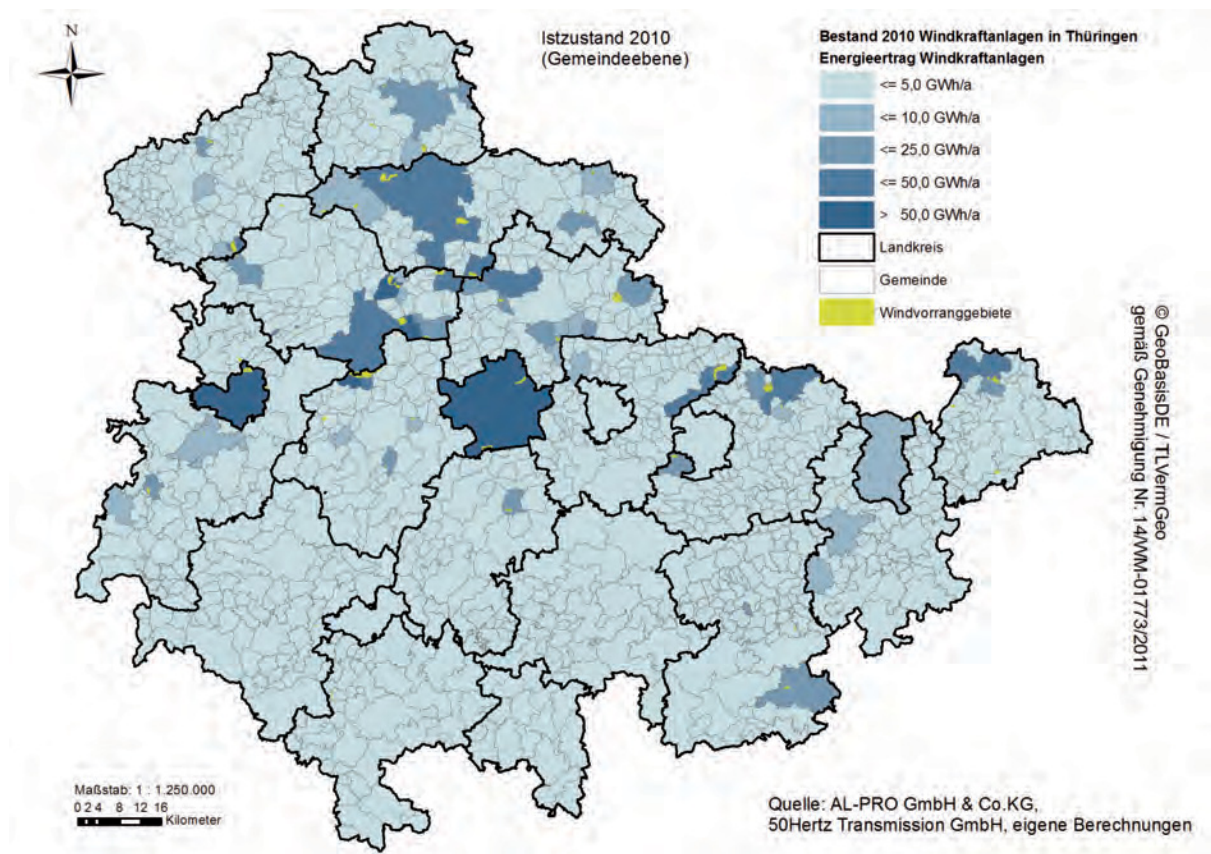


Karte 39 Potenziale der Photovoltaik im Exzellenzszenario B auf Landkreisebene im Jahr 2050

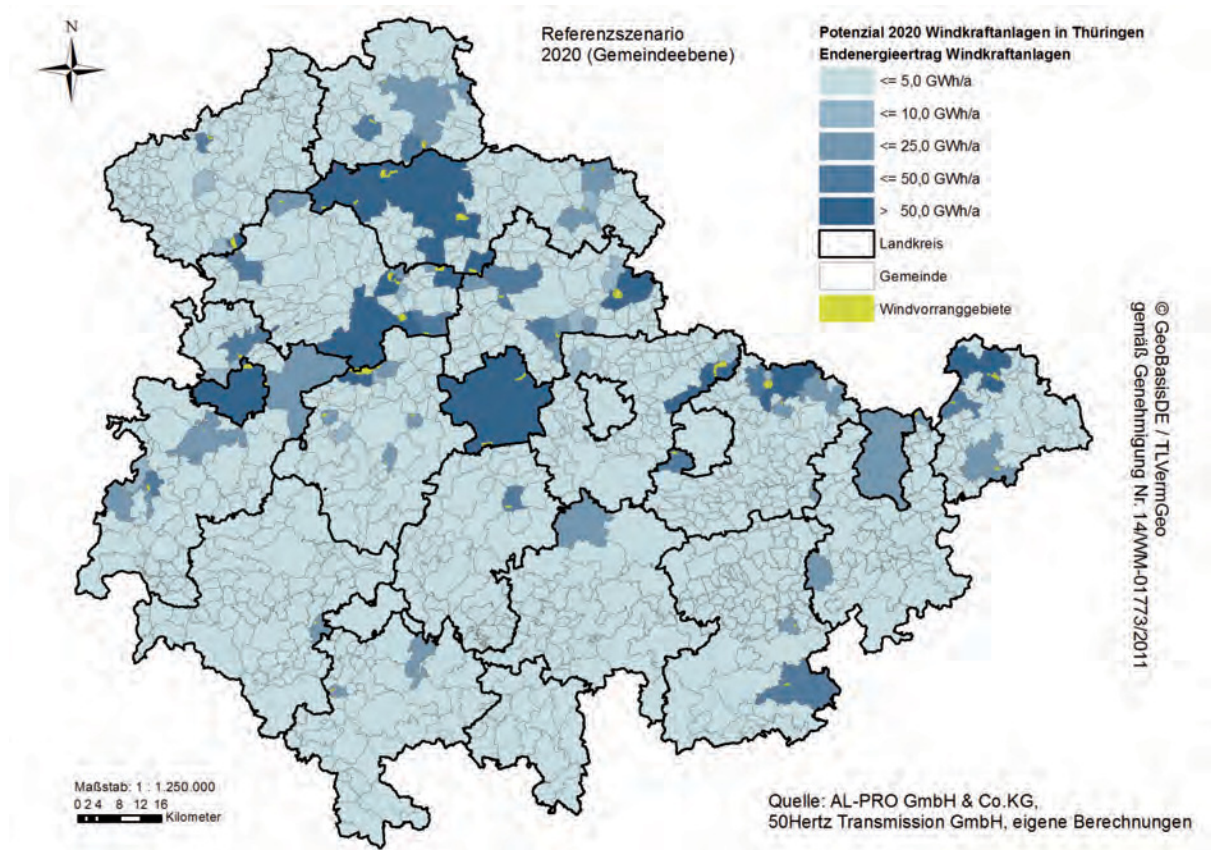




Karte 40 Aktueller Stand der Nutzung – Windenergie auf Gemeindeebene

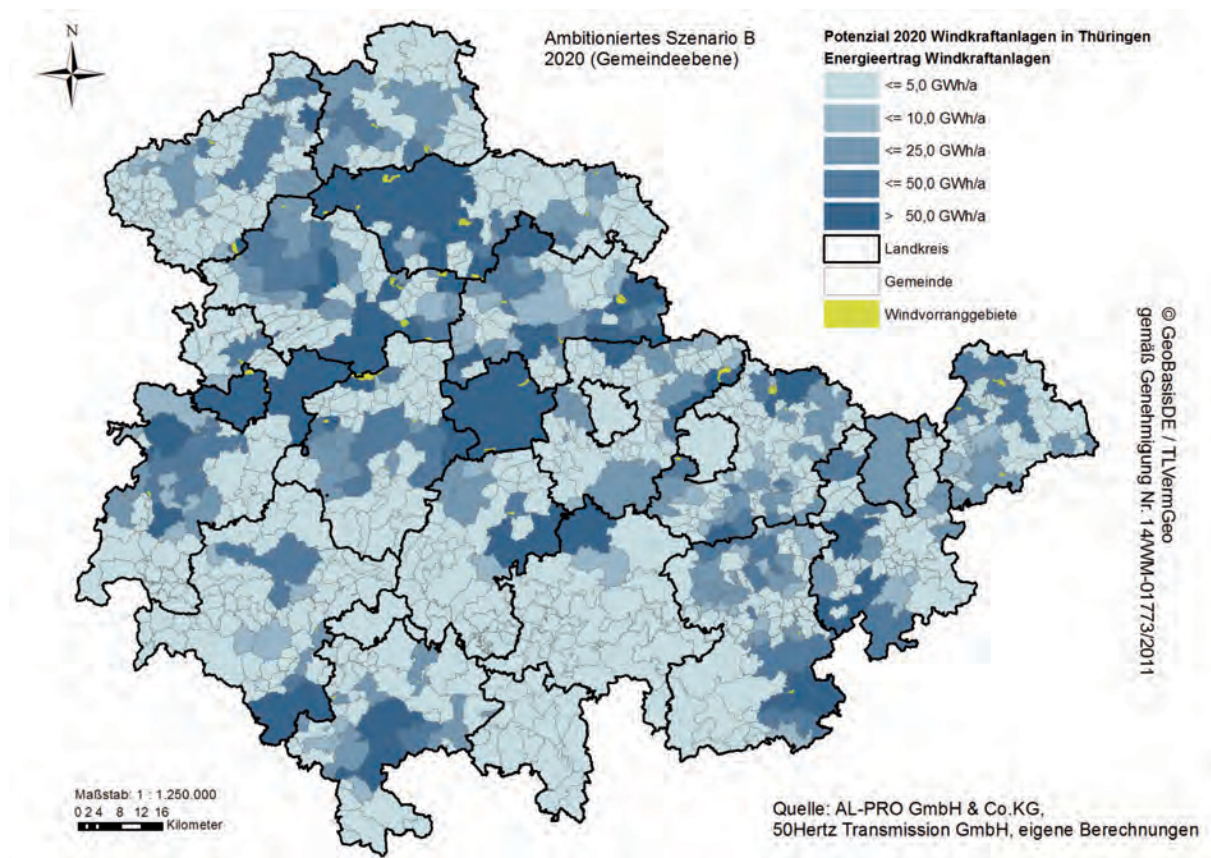


Karte 41 Potenziale der Windenergie im Referenzszenario auf Gemeindeebene im Jahr 2020

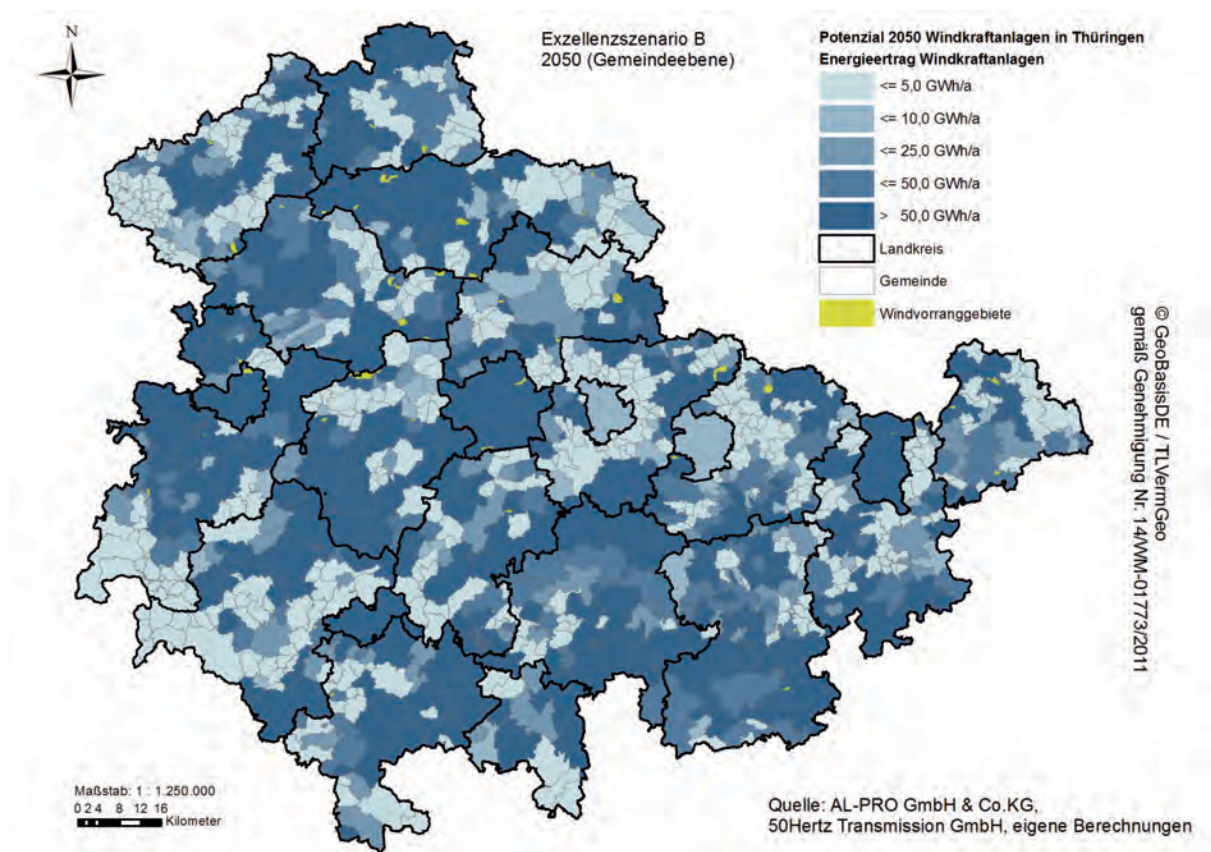




Karte 42 Potenziale der Windenergie im Ambitionierten Szenario B auf Gemeindeebene im Jahr 2020

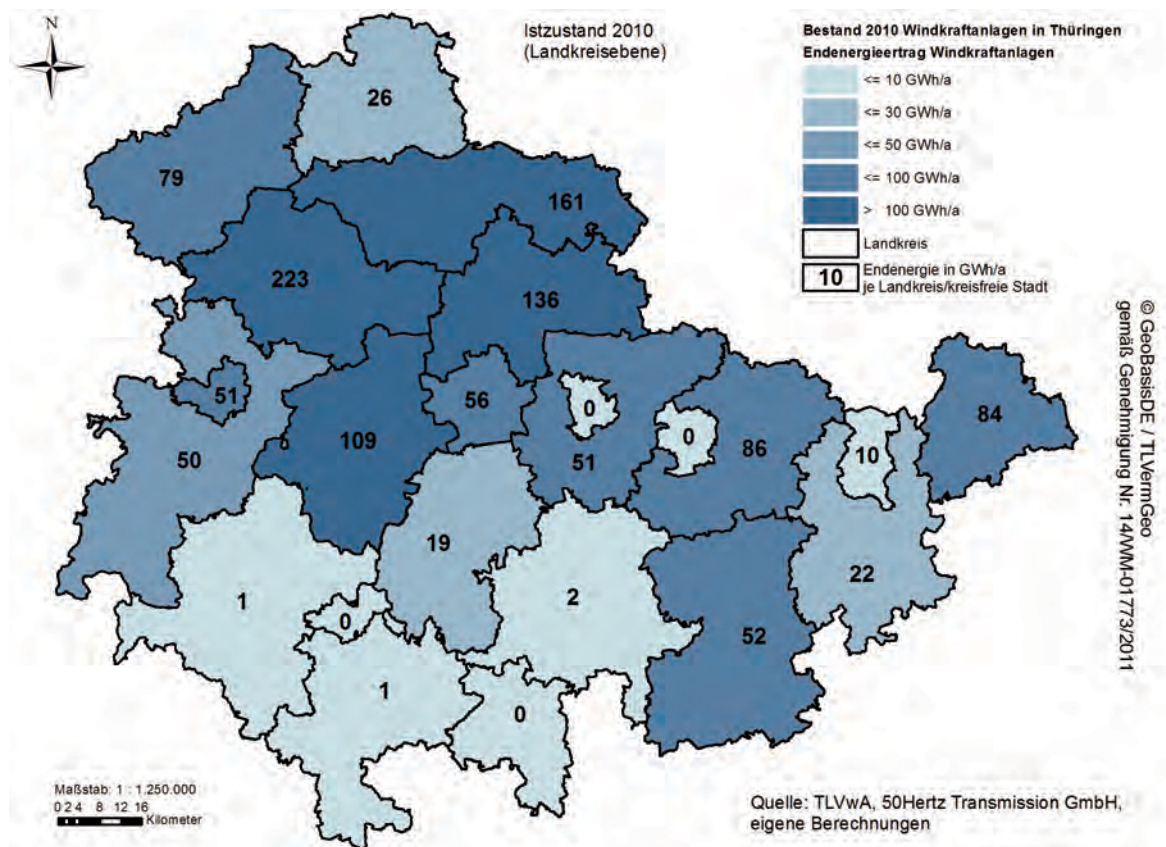


Karte 43 Potenziale der Windenergie im Exzellenzszenario B auf Gemeindeebene im Jahr 2050

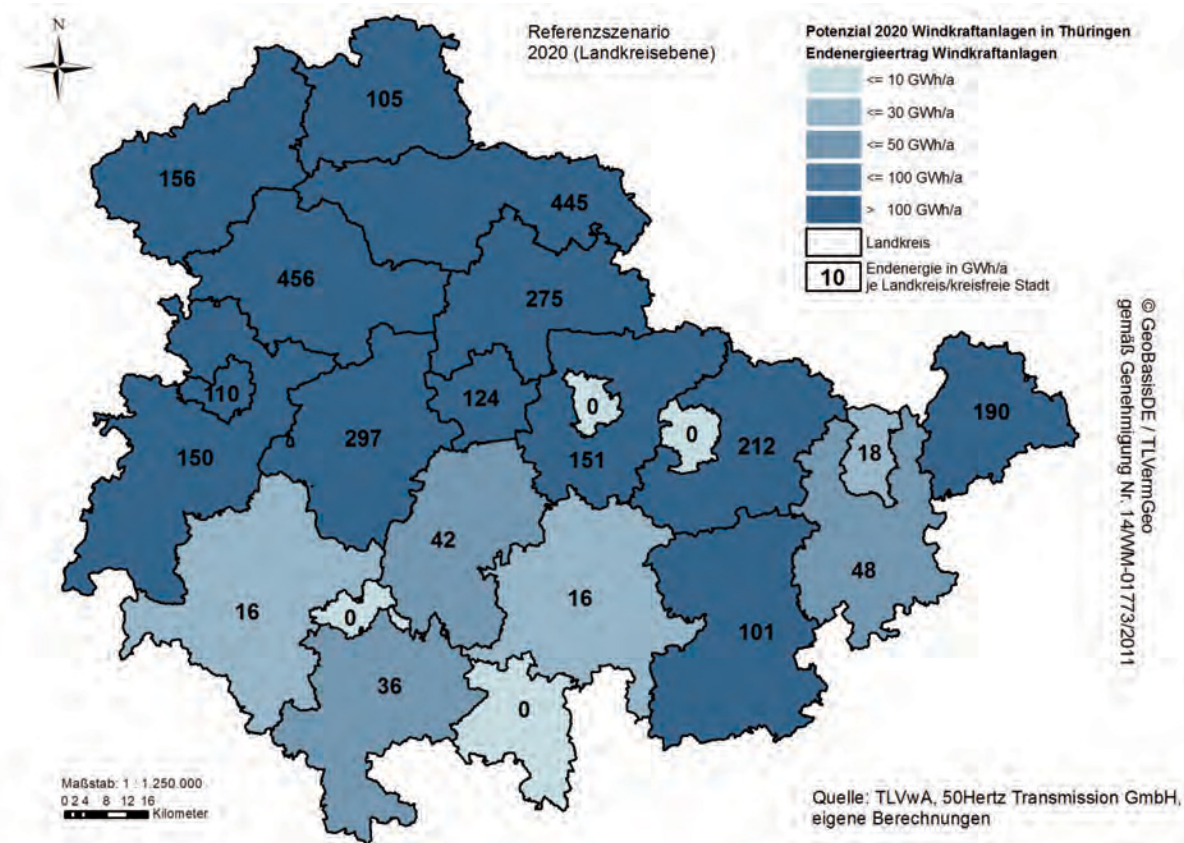




Karte 44 Aktueller Stand der Nutzung – Windenergie auf Landkreisebene

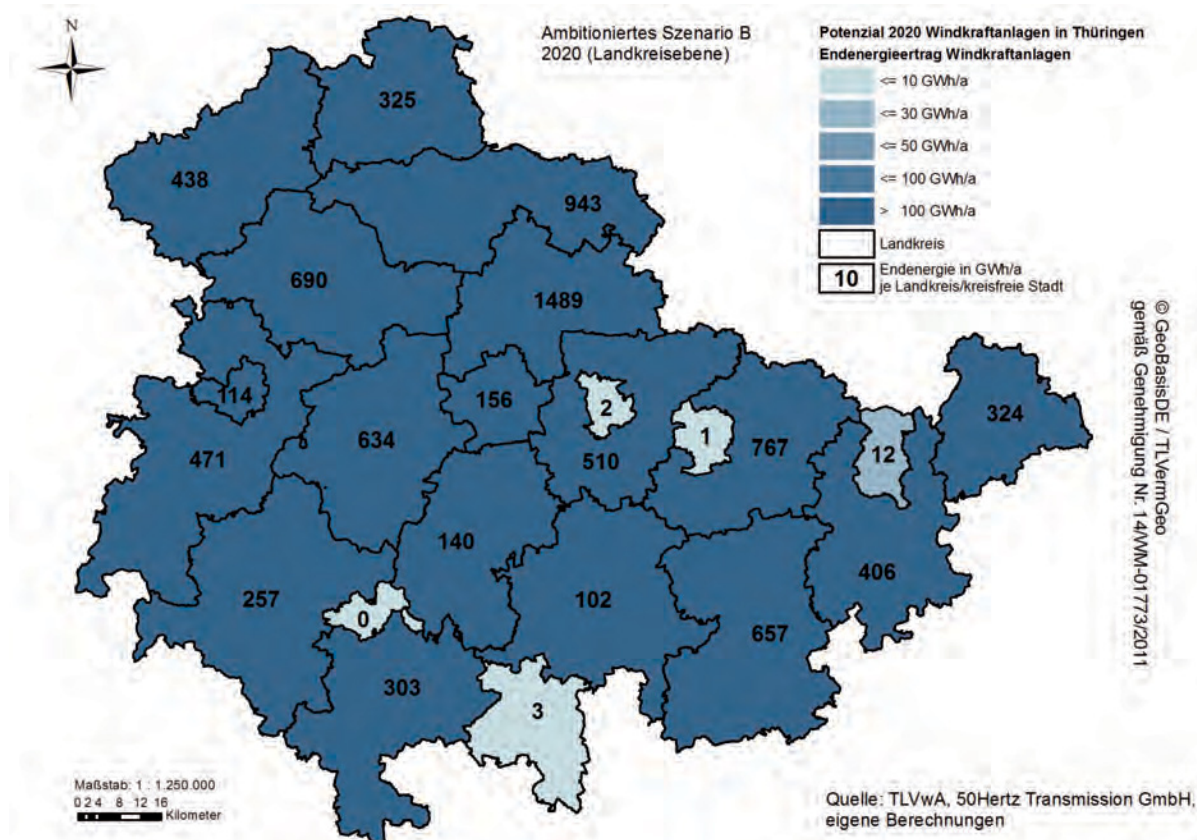


Karte 45 Potenziale der Windenergie im Referenzszenario auf Landkreisebene im Jahr 2020

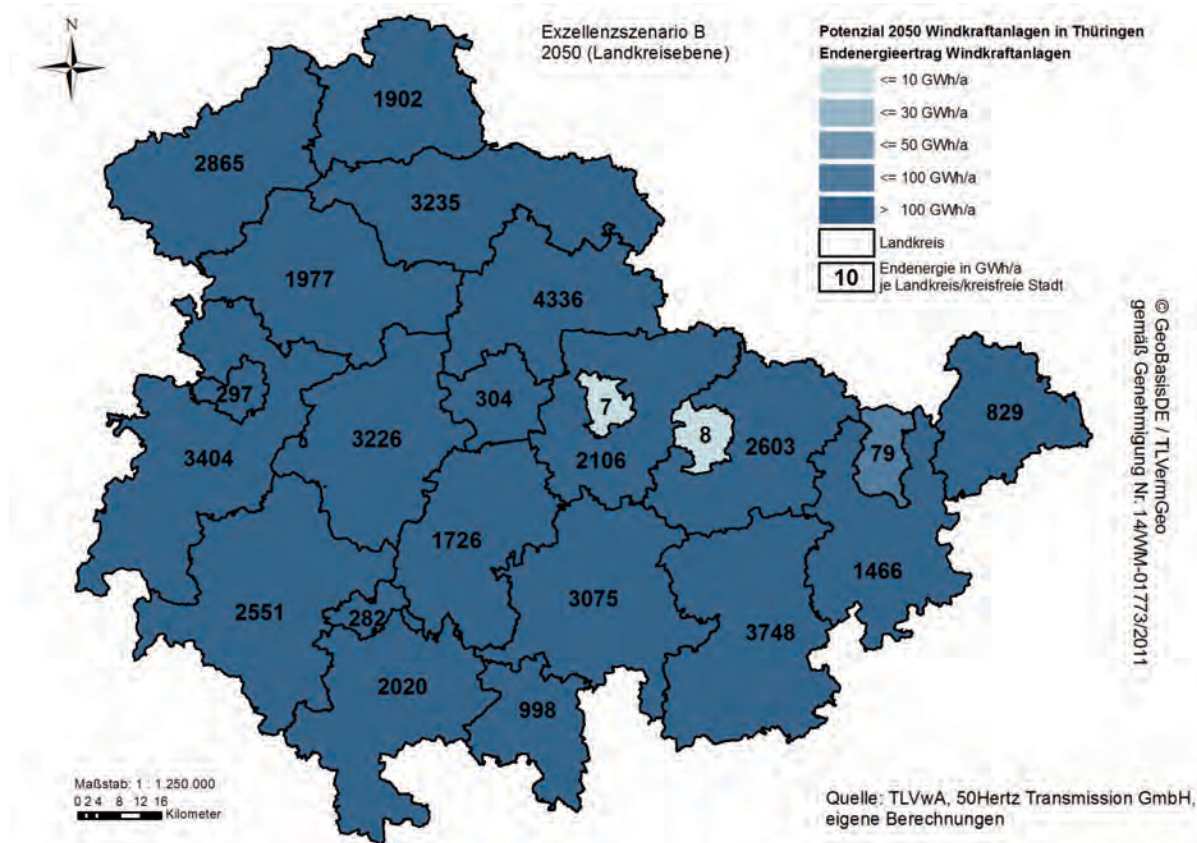




Karte 46 Potenziale der Windenergie im Ambitionierten Szenario B auf Landkreisebene im Jahr 2020

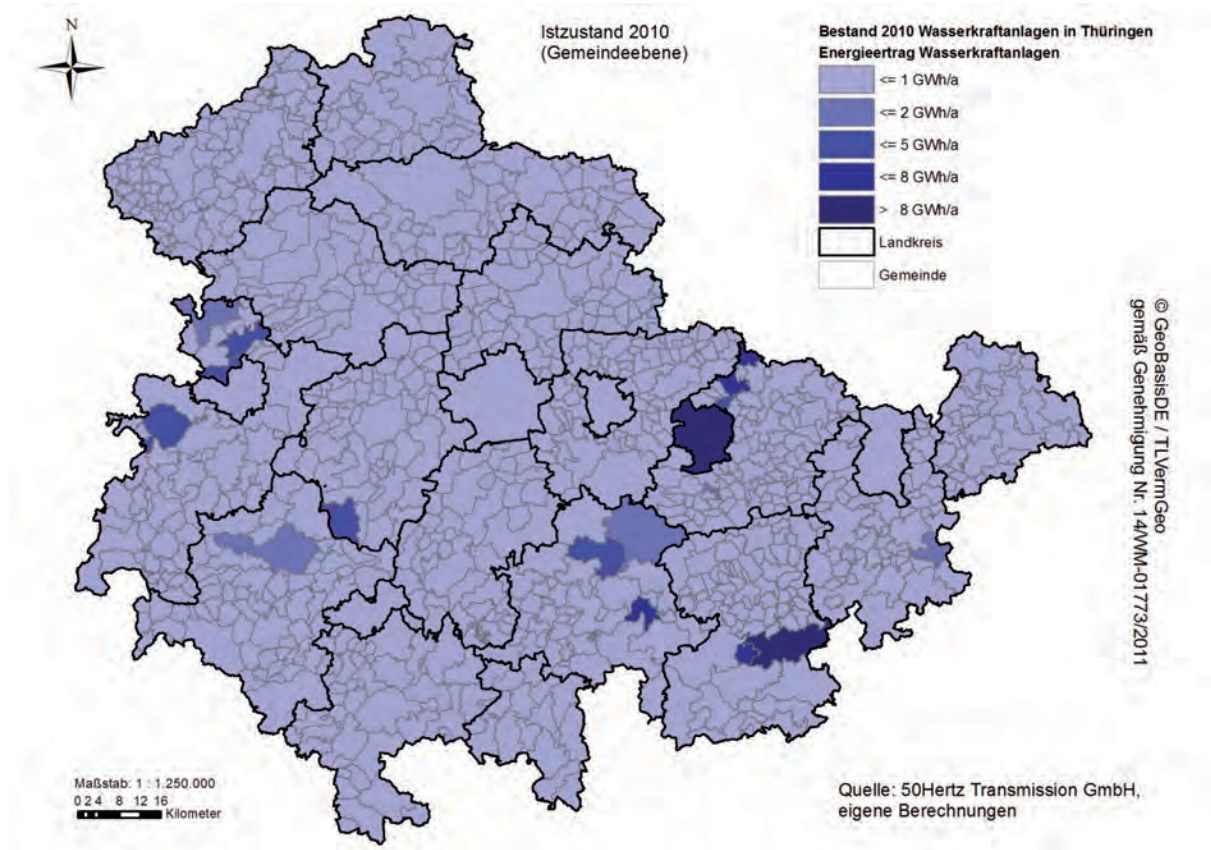


Karte 47 Potenziale der Windenergie im Exzellenzszenario B auf Landkreisebene im Jahr 2050

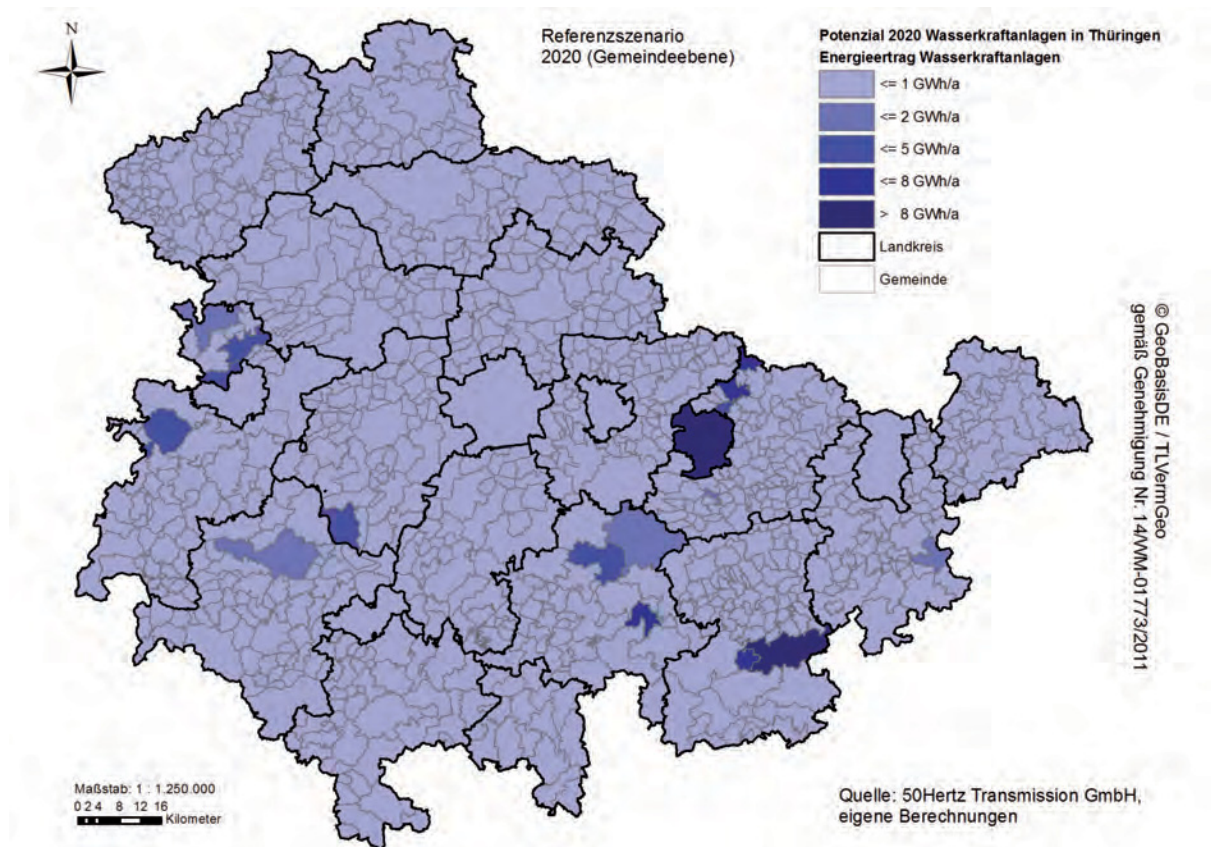




Karte 48 Aktueller Stand der Nutzung – Wasserkraft auf Gemeindeebene

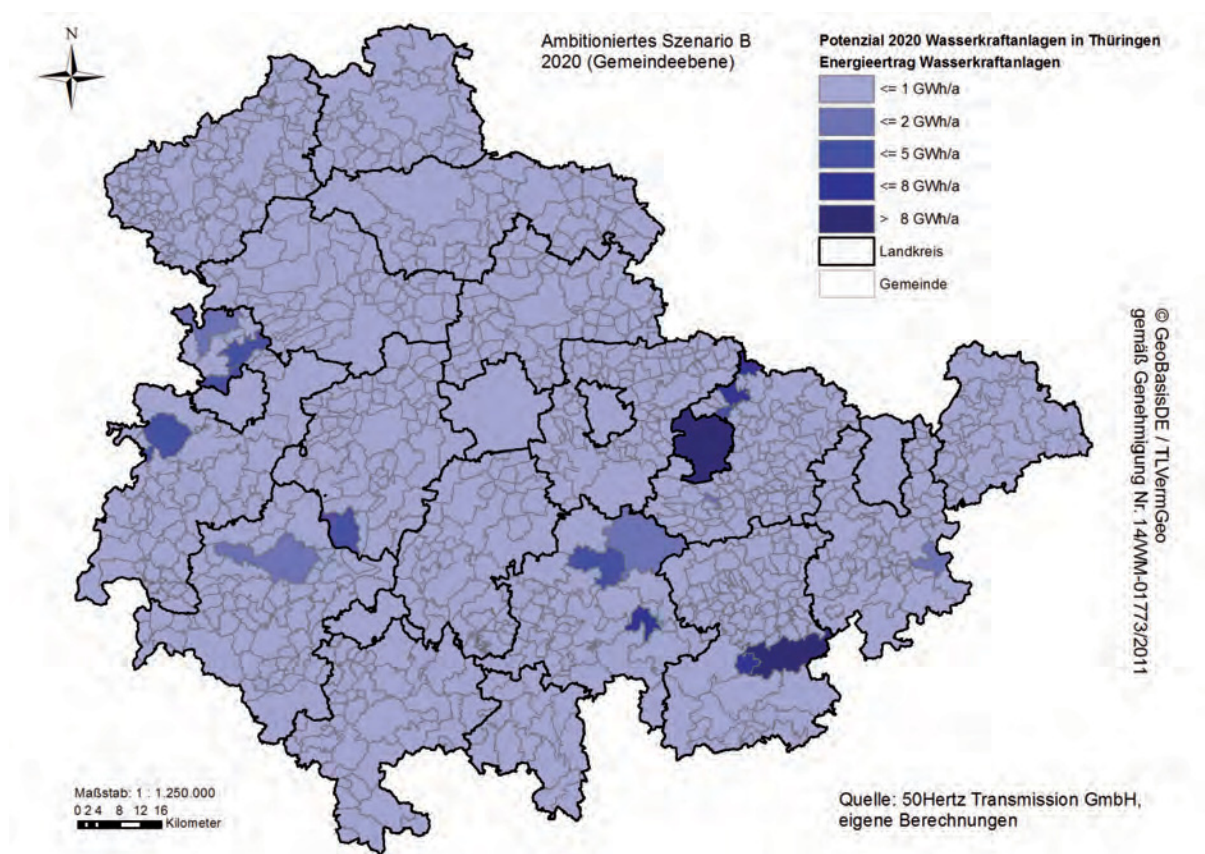


Karte 49 Potenziale der Wasserkraft im Referenzszenario auf Gemeindeebene im Jahr 2020

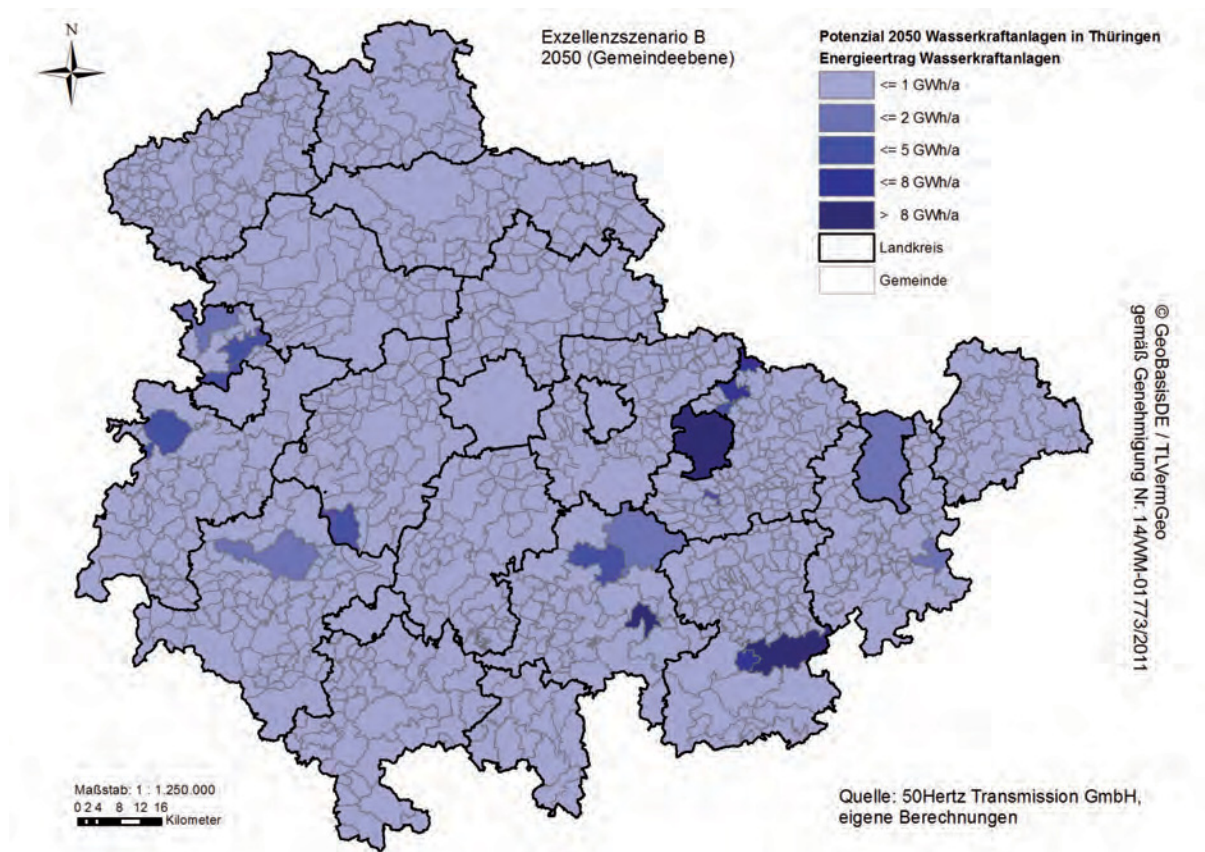




Karte 50 Potenziale der Wasserkraft im Ambitionierten Szenario B auf Gemeindeebene im Jahr 2020

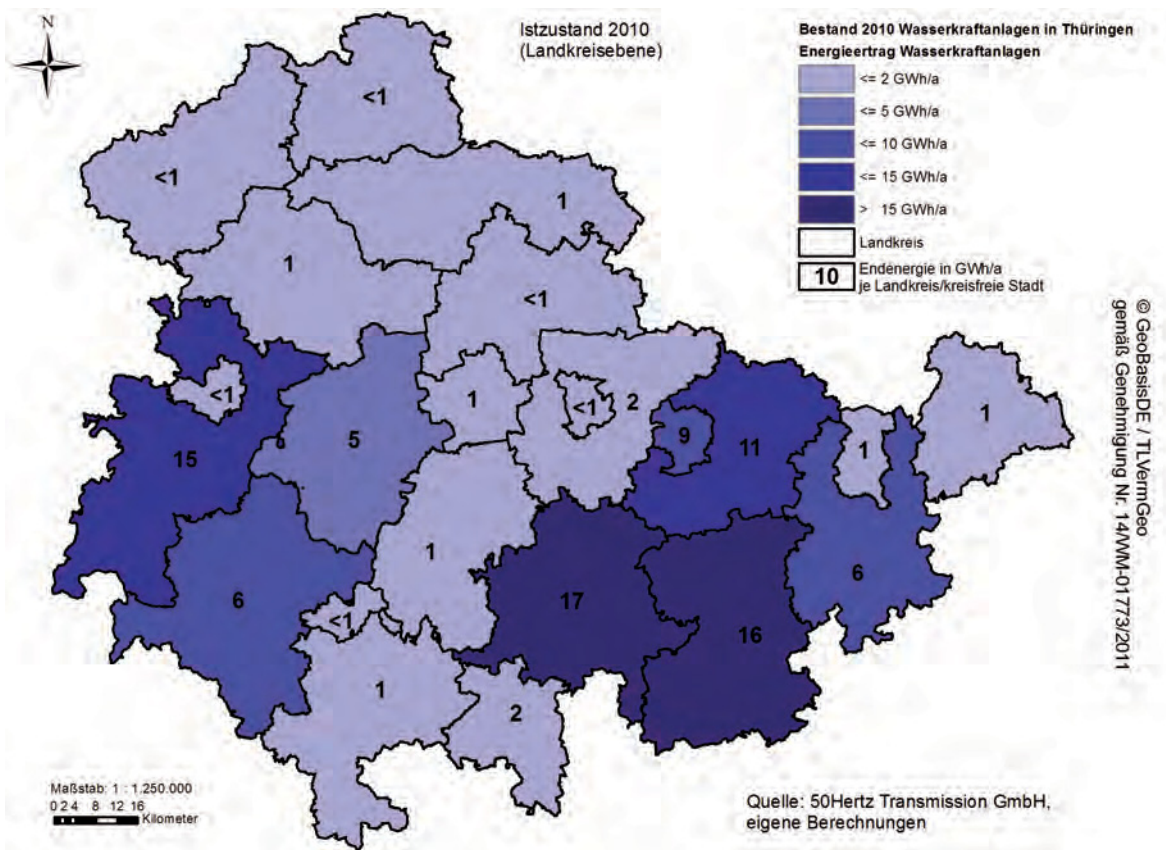


Karte 51 Potenziale der Wasserkraft im Exzellenzszenario B auf Gemeindeebene im Jahr 2050

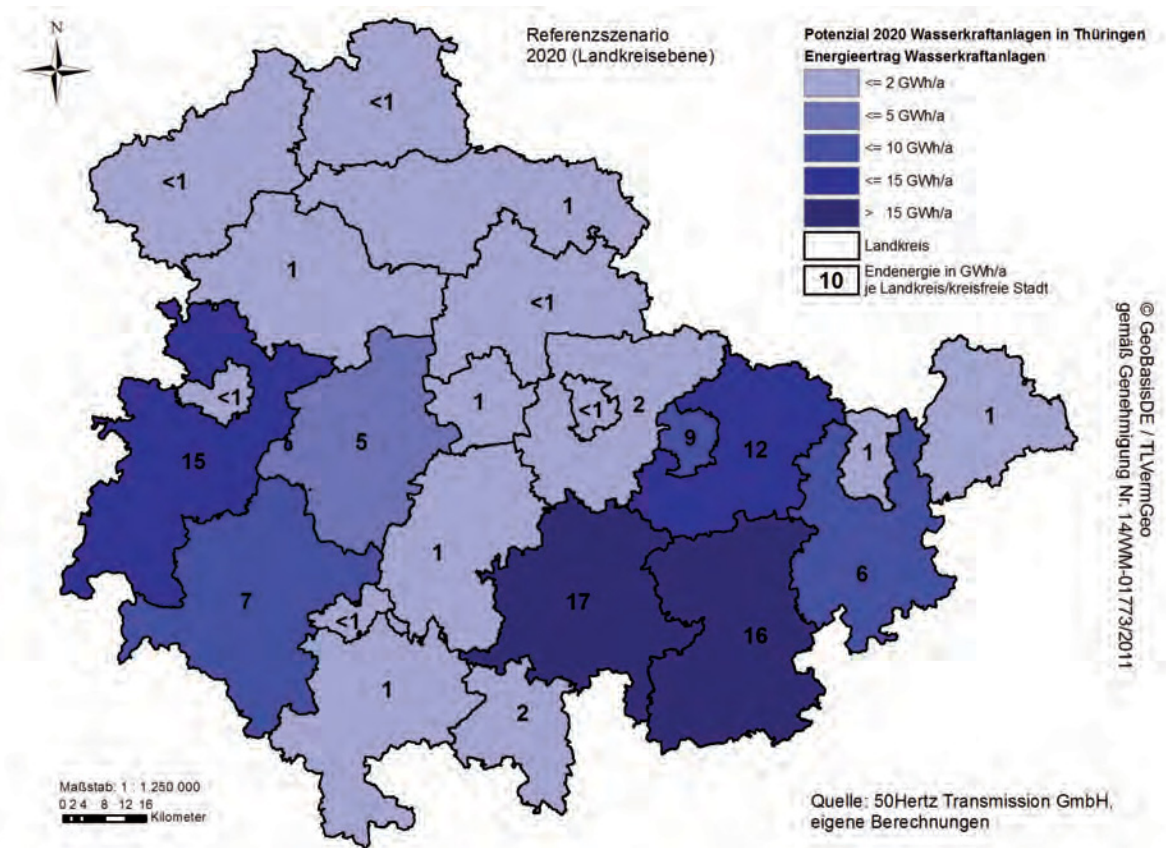




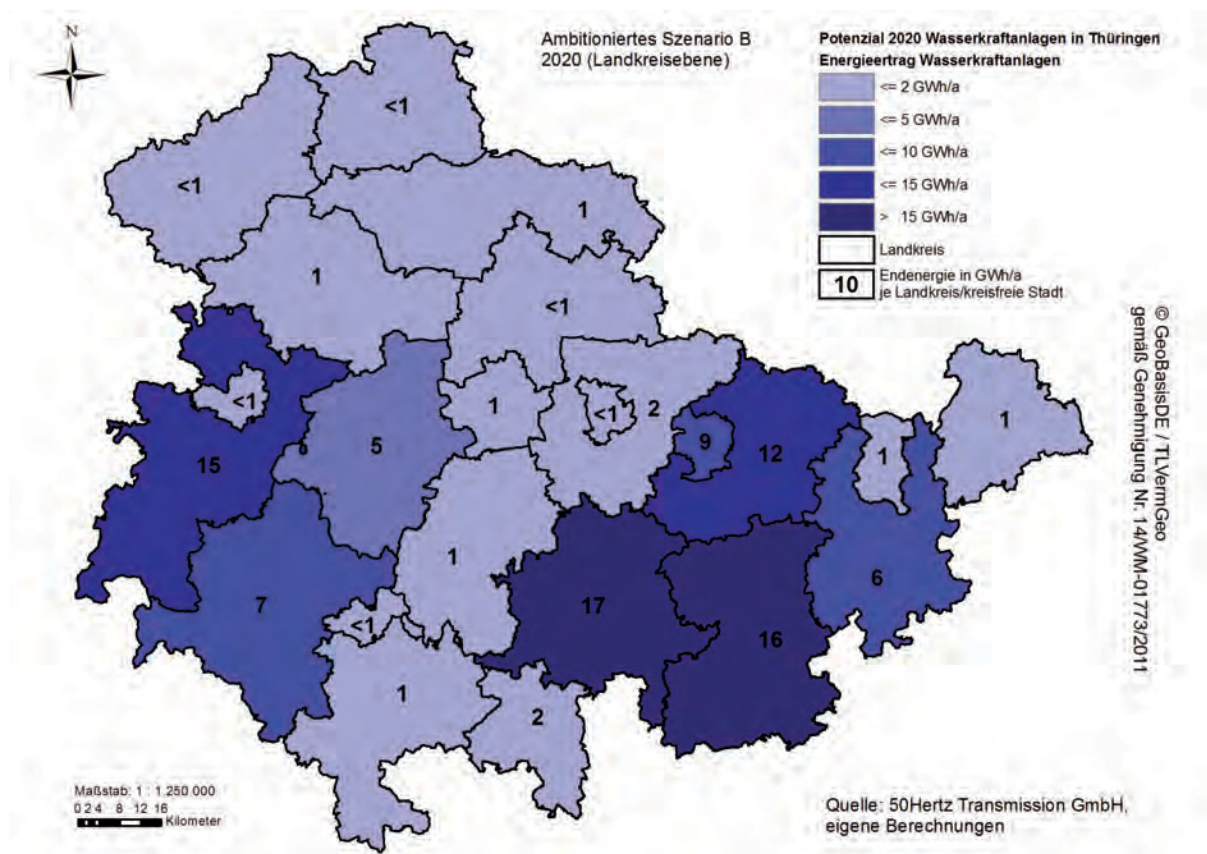
## Karte 52 Aktueller Stand der Nutzung – Wasserkraft auf Landkreisebene



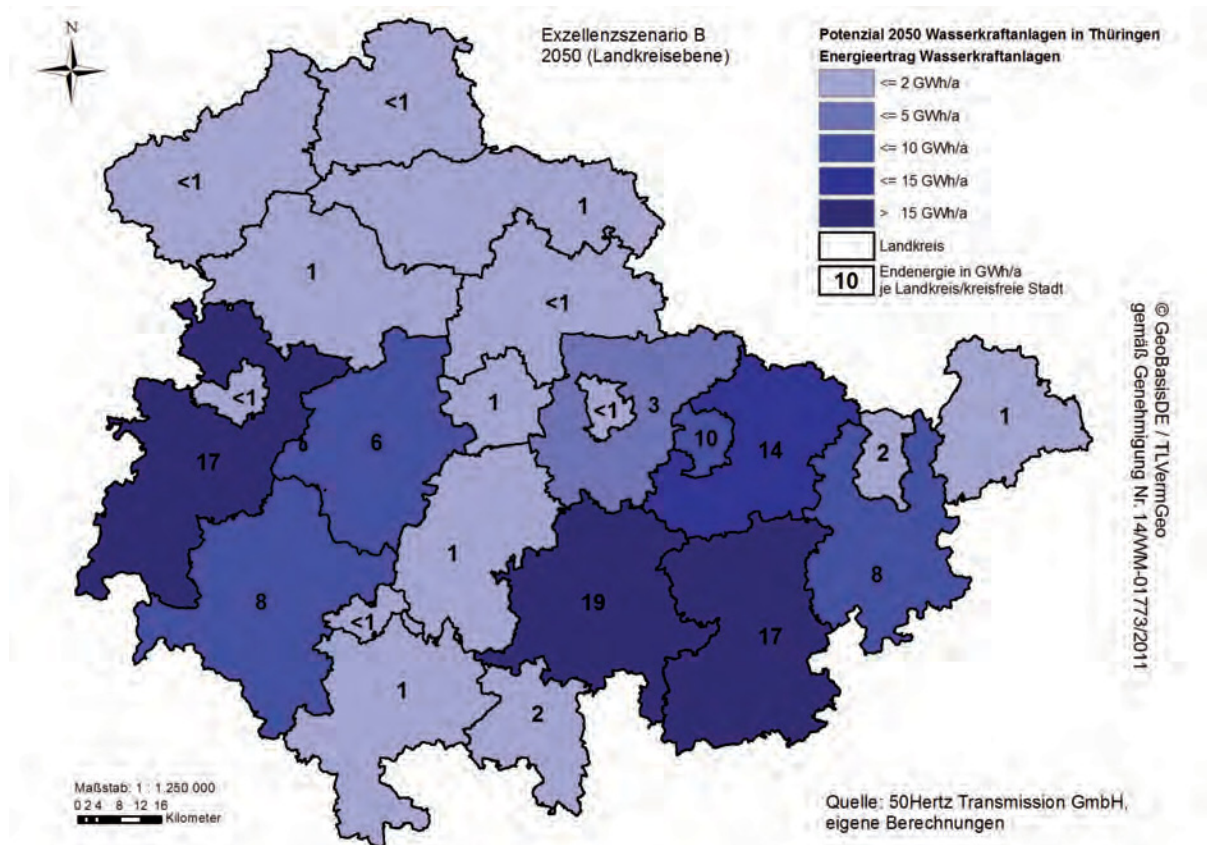
Karte 53 Potenziale der Wasserkraft im Referenzszenario auf Landkreisebene im Jahr 2020



Karte 54 Potenziale der Wasserkraft im Ambitionierten Szenario B auf Landkreisebene im Jahr 2020

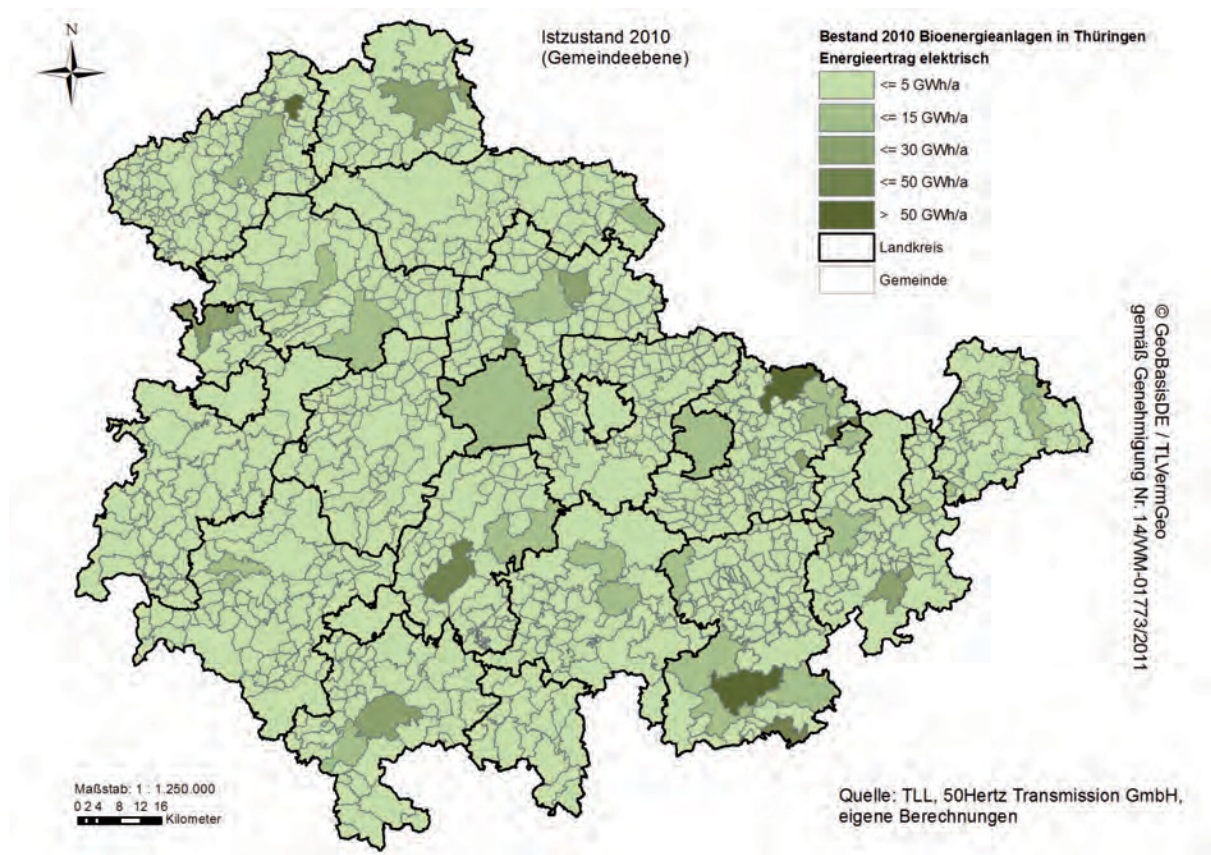


Karte 55 Potenziale der Wasserkraft im Exzellenzszenario B auf Landkreisebene im Jahr 2050

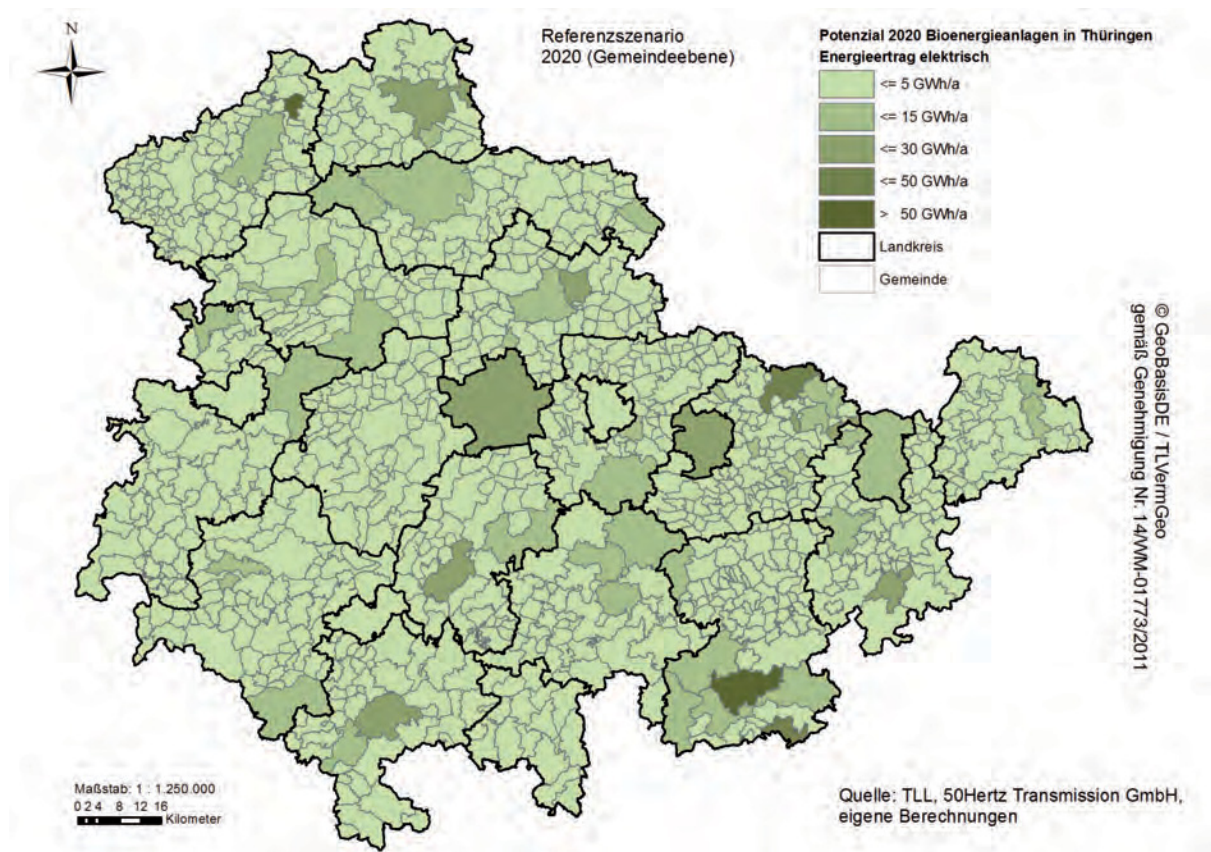




Karte 56 Aktueller Stand der Nutzung – Biomasse (elektrisch) auf Gemeindeebene

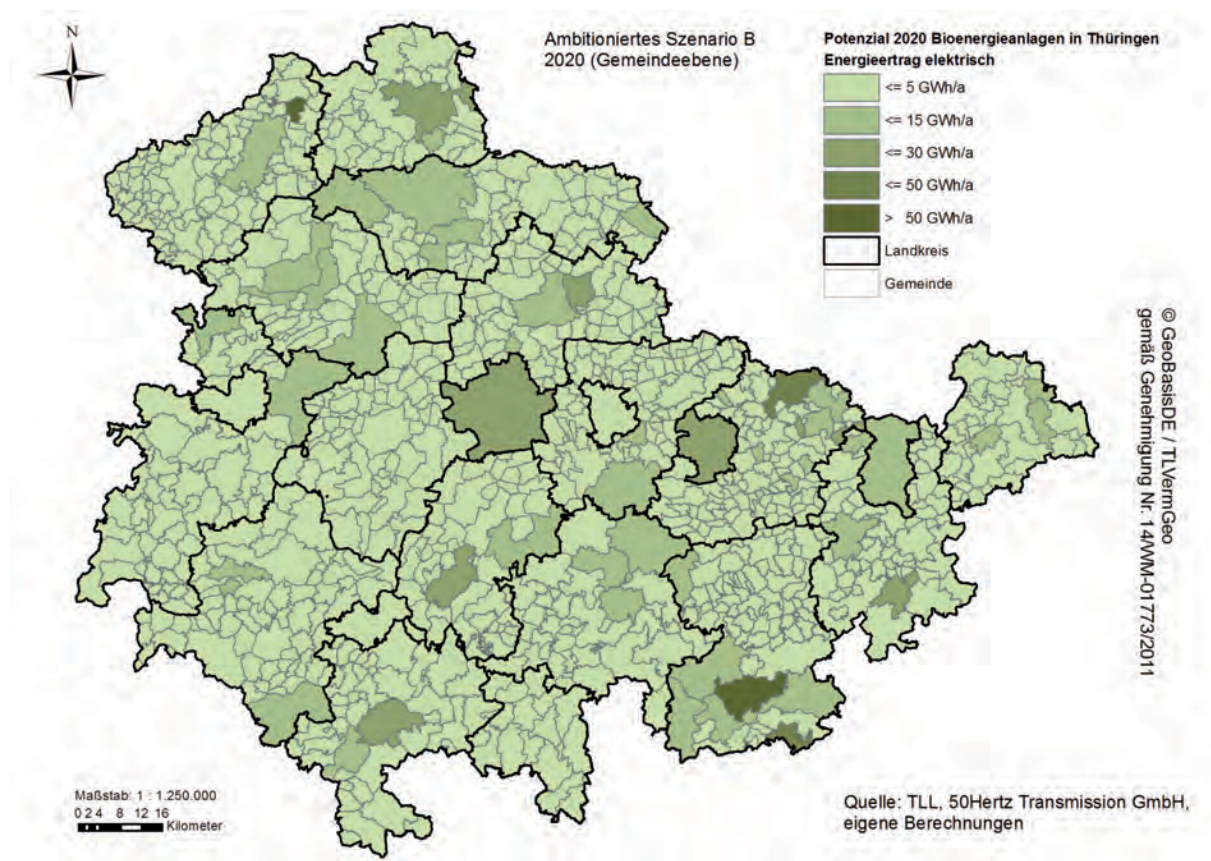


Karte 57 Potenziale der Biomasse (elektrisch) im Referenzszenario auf Gemeindeebene im Jahr 2020

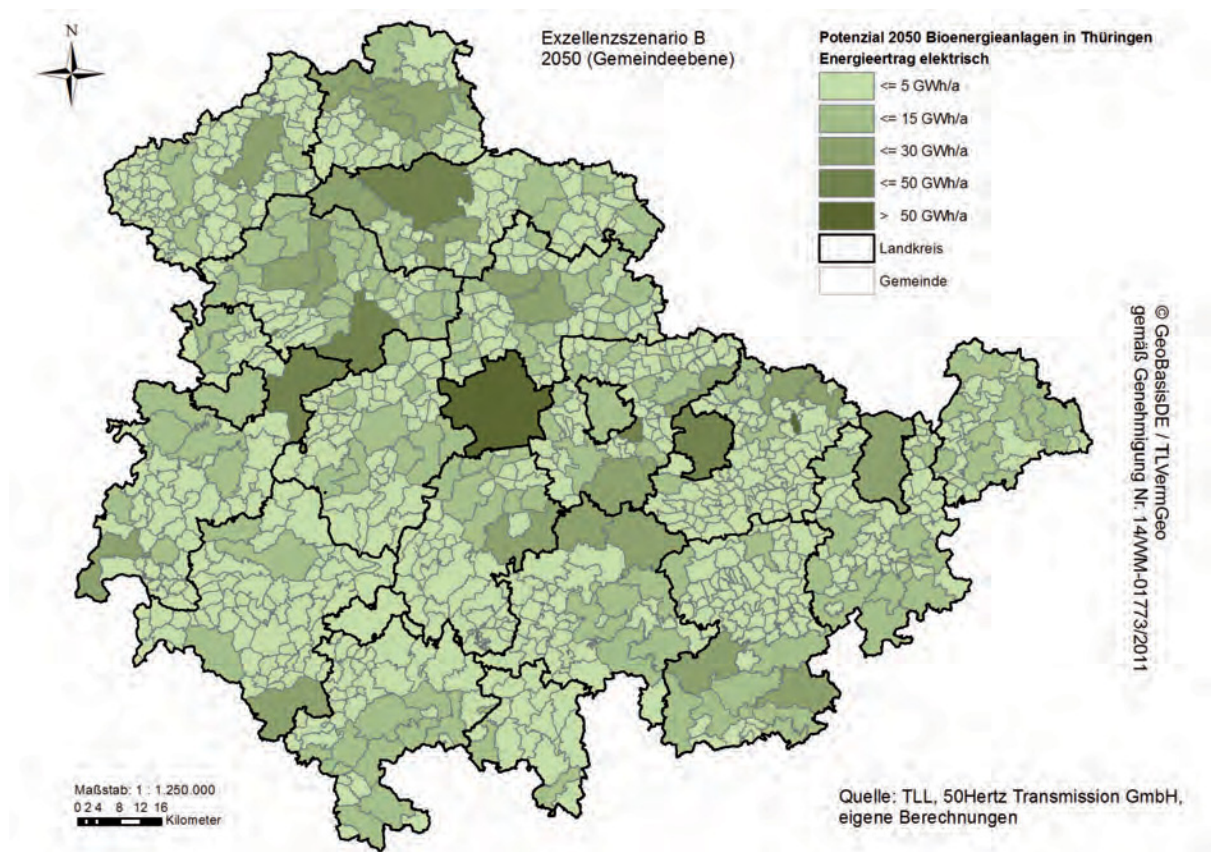




Karte 58 Potenziale der Biomasse (elektrisch) im Ambitionierten Szenario B auf Gemeindeebene (2020)

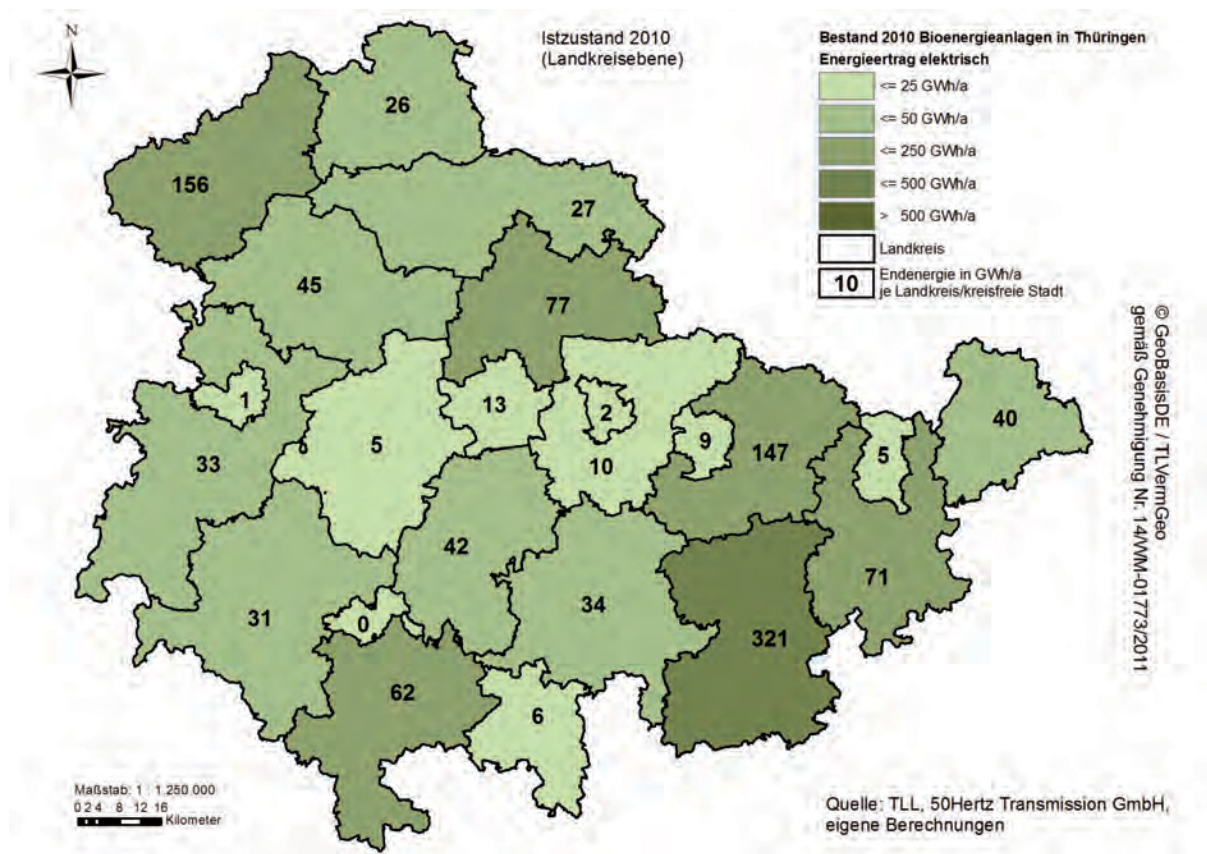


Karte 59 Potenziale der Biomasse (elektrisch) im Exzellenzszenario B auf Landkreisebene im Jahr 2050

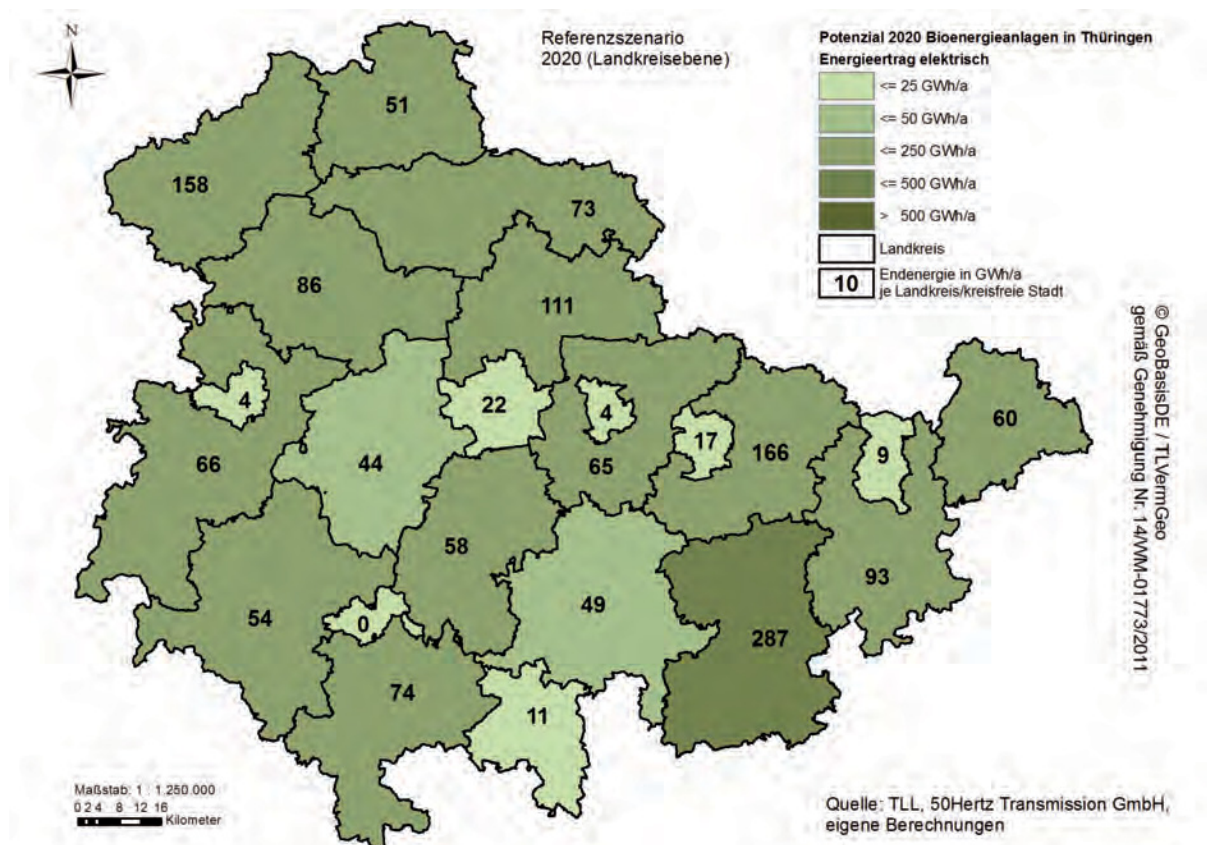




Karte 60 Aktueller Stand der Nutzung – Biomasse (elektrisch) auf Landkreisebene

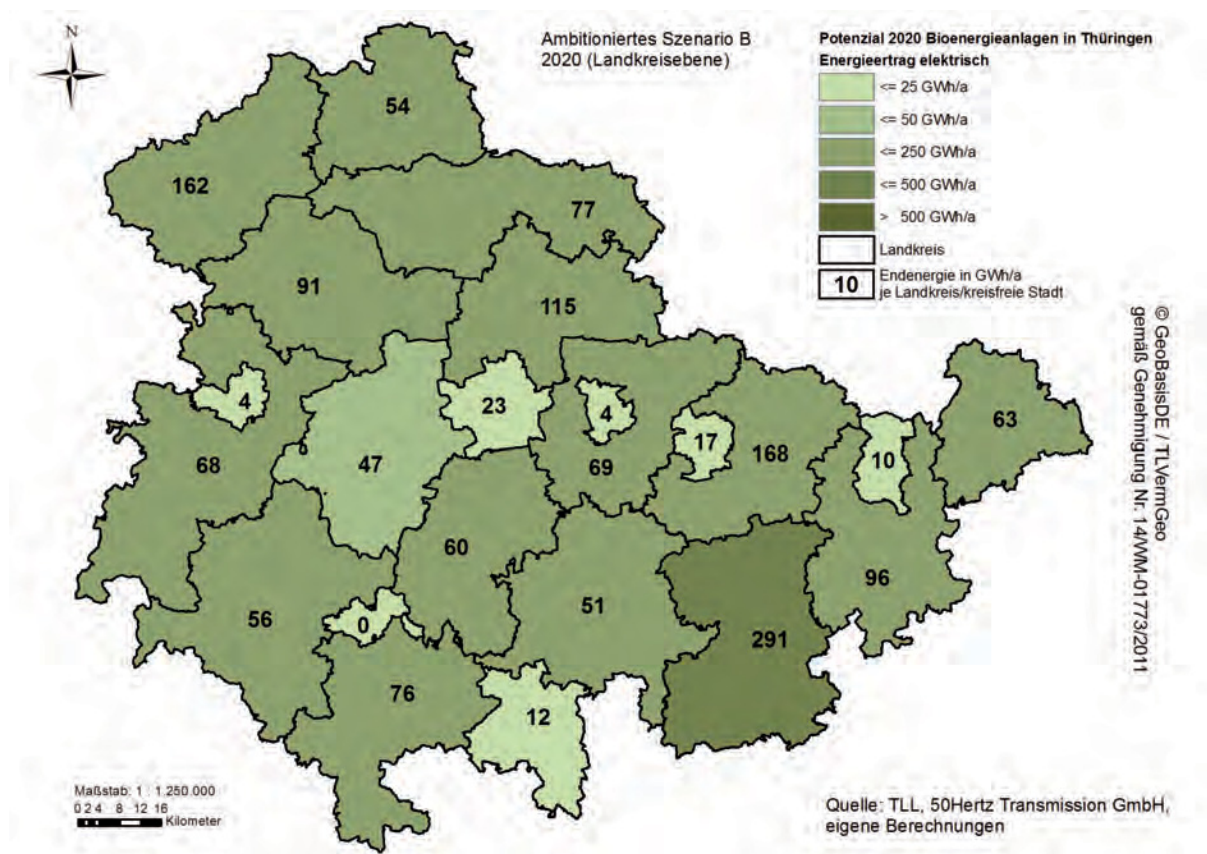


Karte 61 Potenziale der Biomasse (elektrisch) im Referenzszenario auf Landkreisebene im Jahr 2020

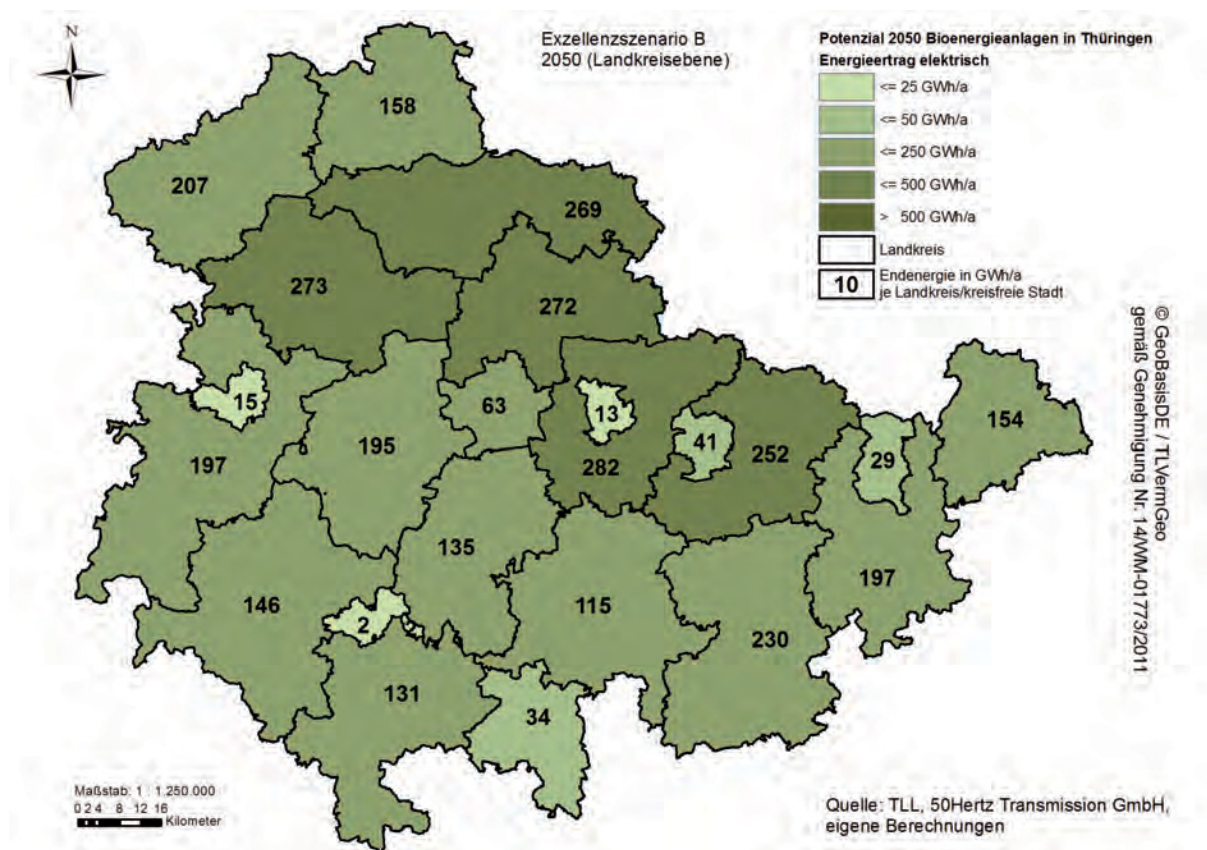




Karte 62 Potenziale der Biomasse (elektrisch) im Ambitionierten Szenario B auf Landkreisebene (2020)

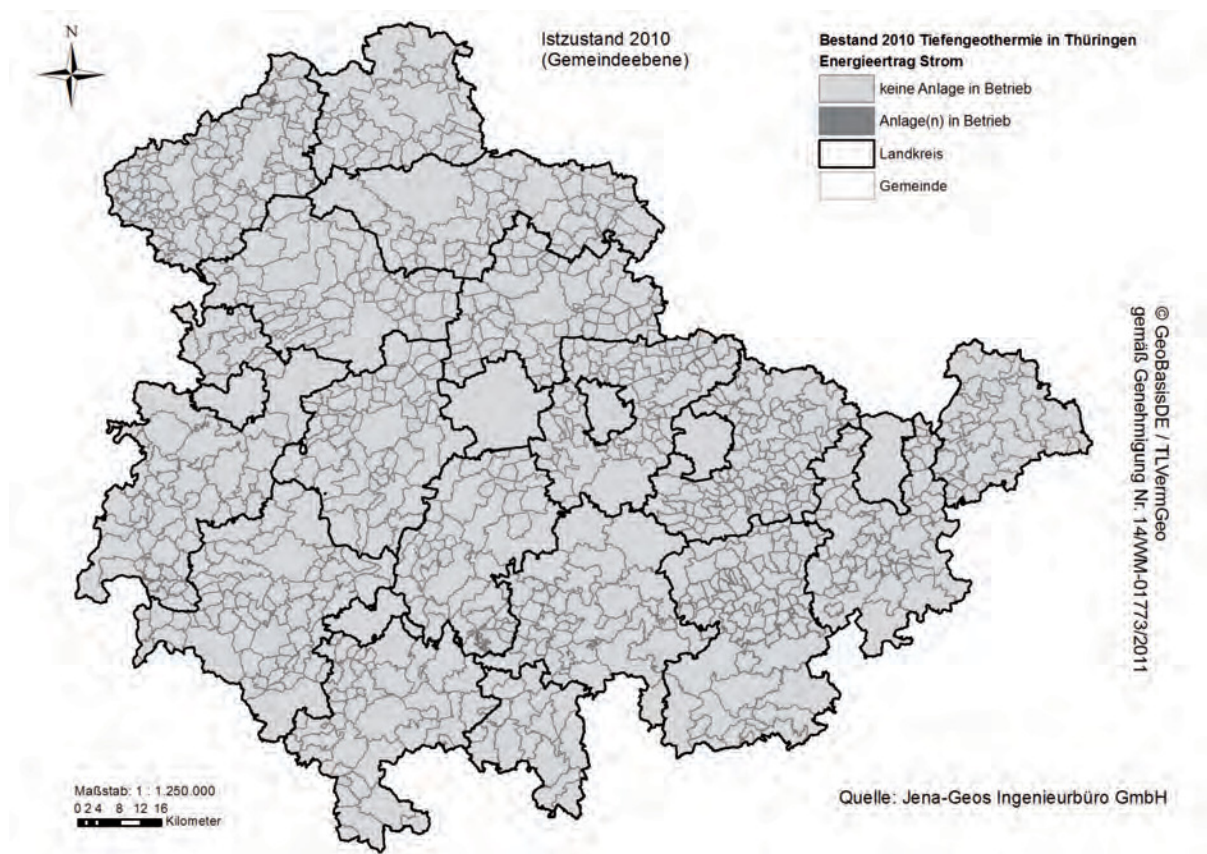


Karte 63 Potenziale der Biomasse (elektrisch) im Exzellenzszenario B auf Landkreisebene im Jahr 2050

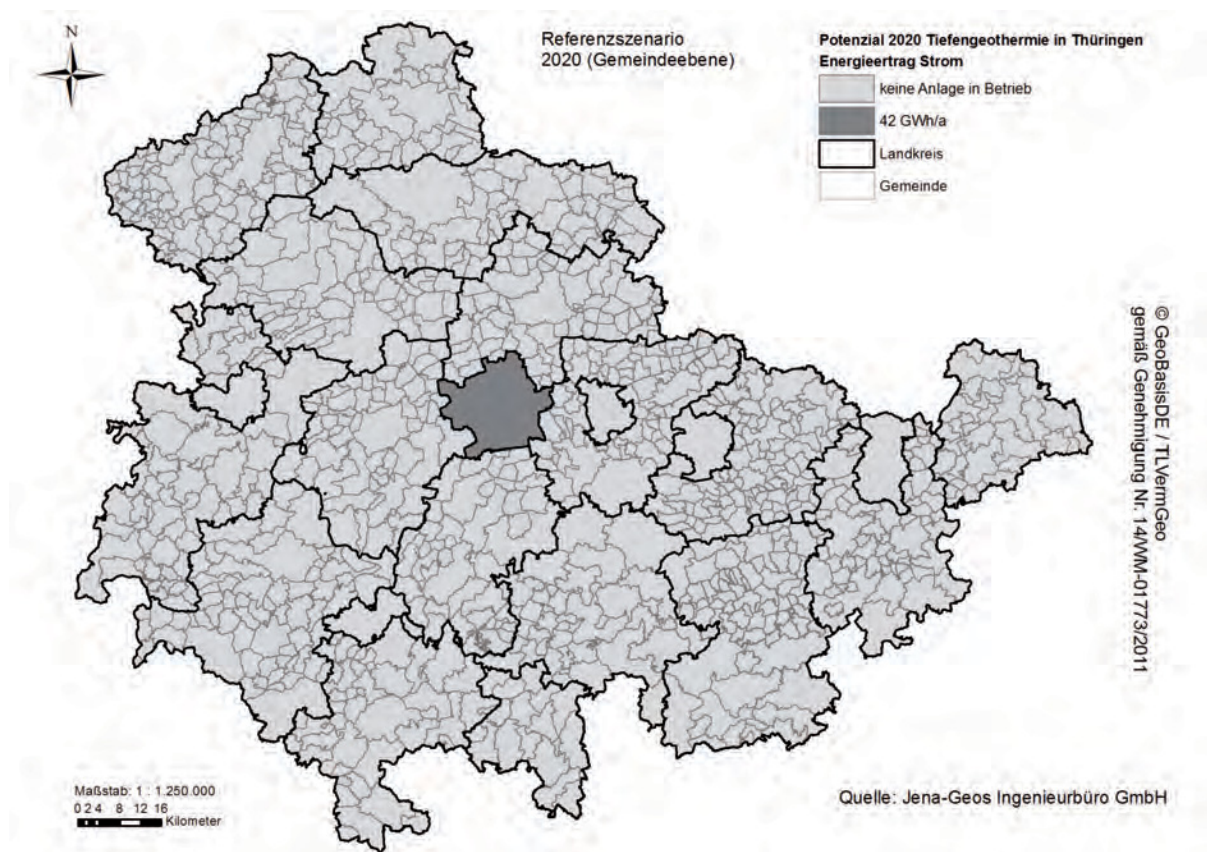




Karte 64 Aktueller Stand der Nutzung – Tiefengeothermie (elektrisch) auf Gemeindeebene

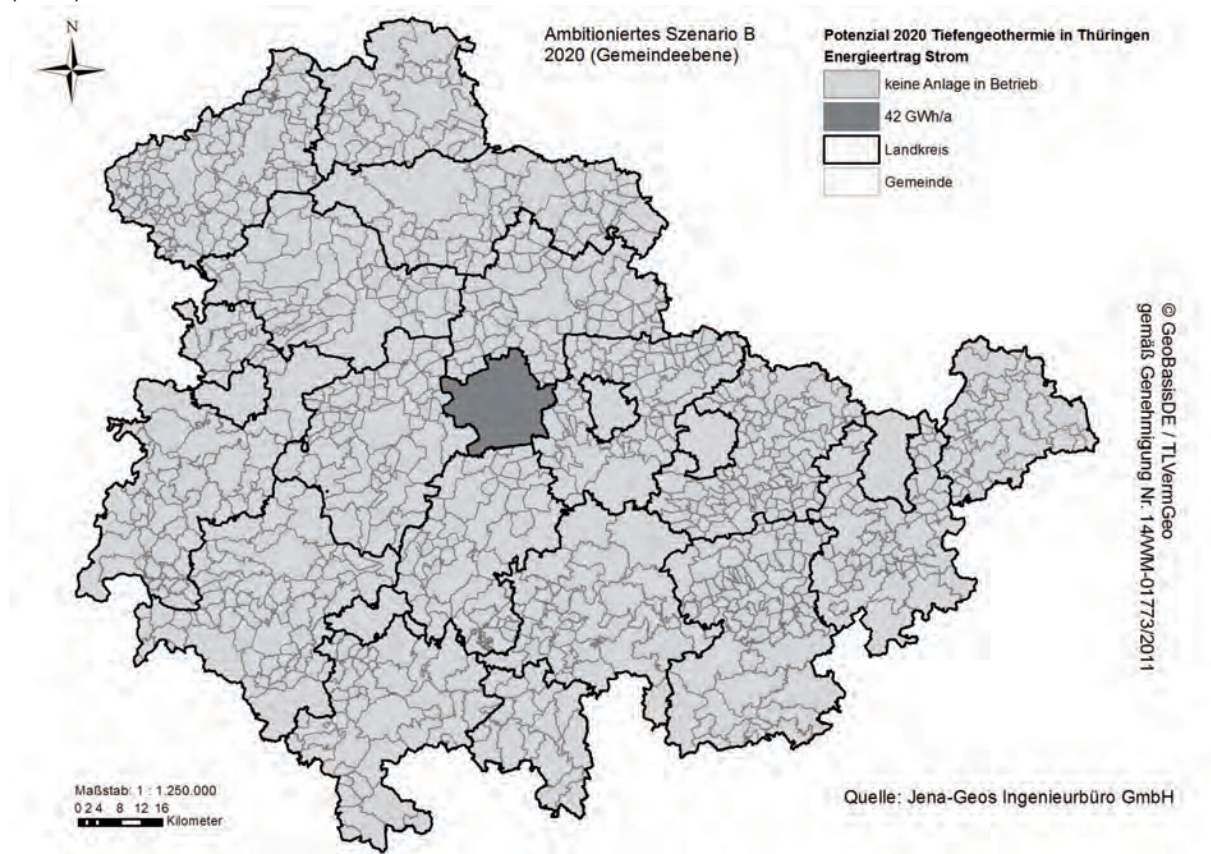


Karte 65 Potenziale der Tiefengeothermie (elektrisch) im Referenzszenario auf Gemeindeebene (2020)

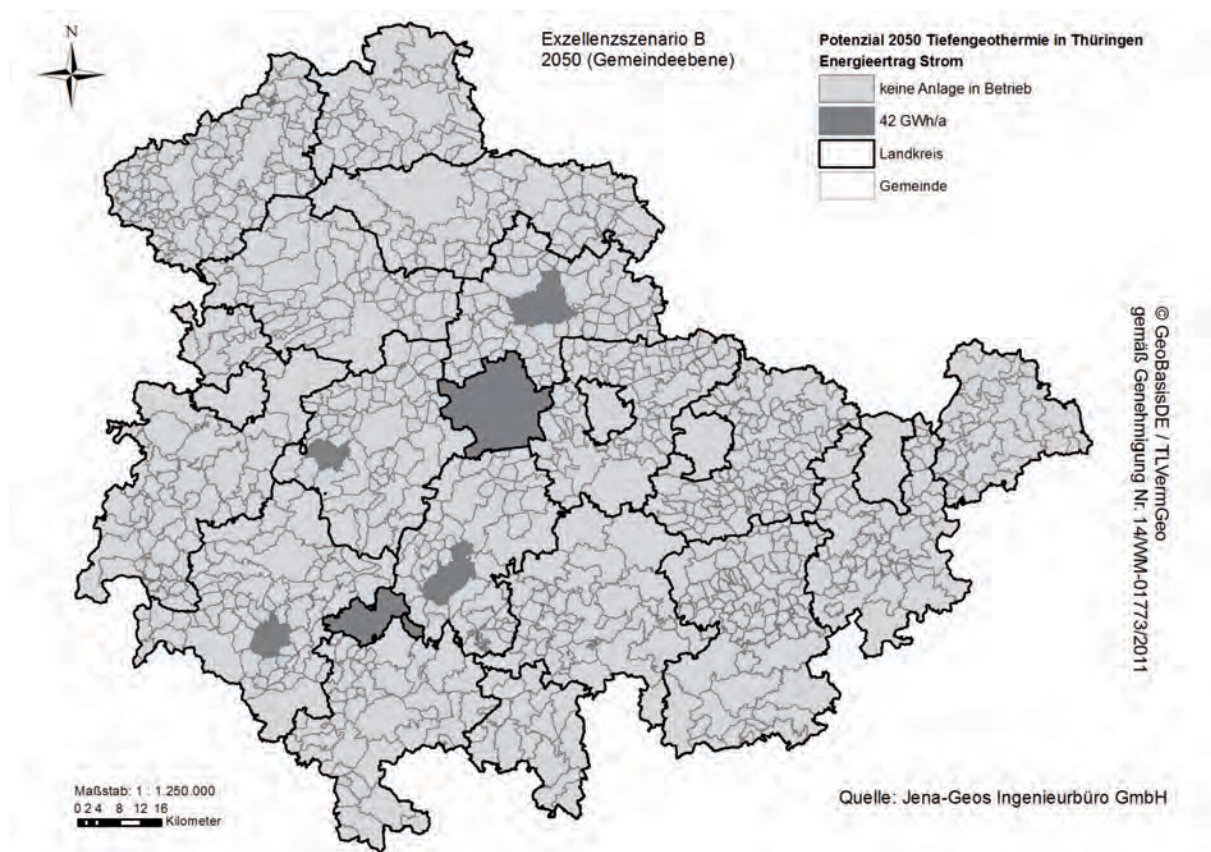




Karte 66 Potenziale der Tiefengeothermie (elektrisch) im Ambitionierten Szenario B auf Gemeindeebene (2020)

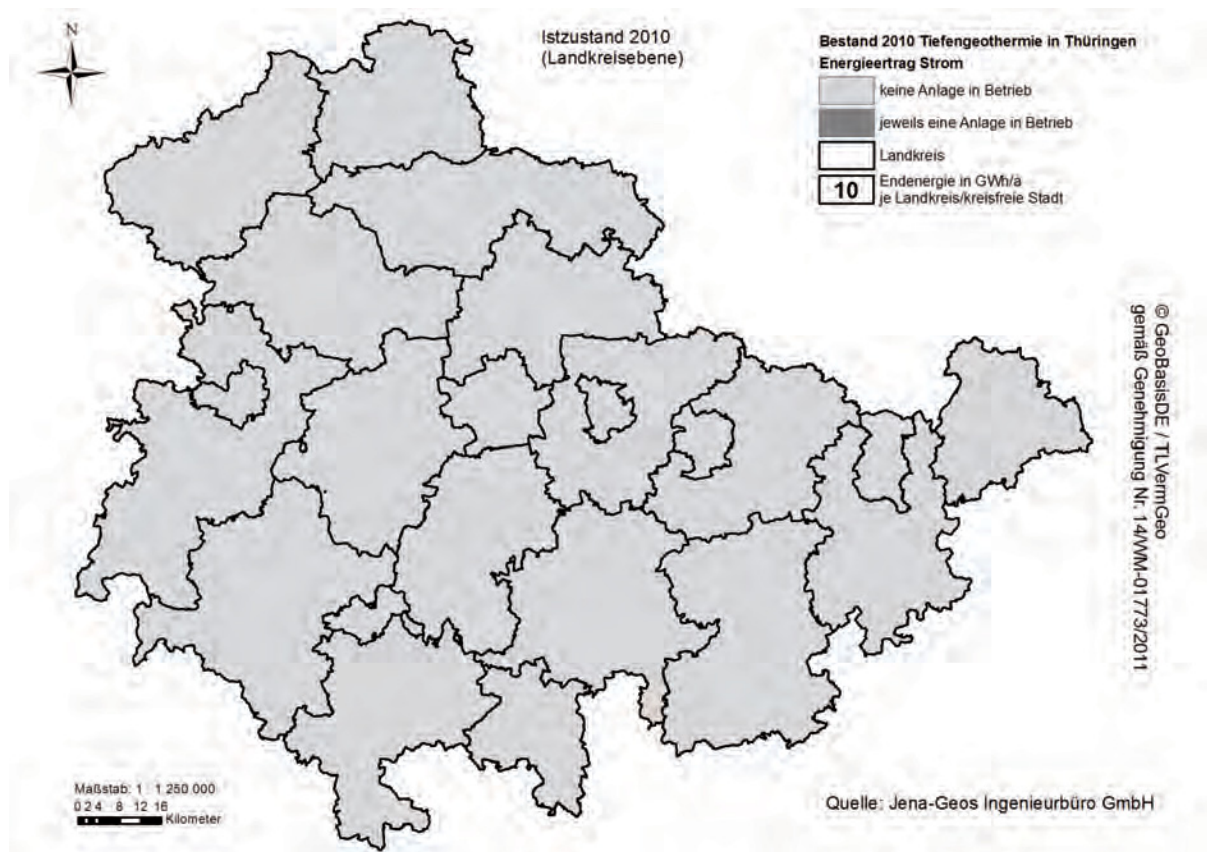


Karte 67 Potenziale der Tiefengeothermie (elektrisch) im Exzellenzszenario B auf Landkreisebene im Jahr 2050

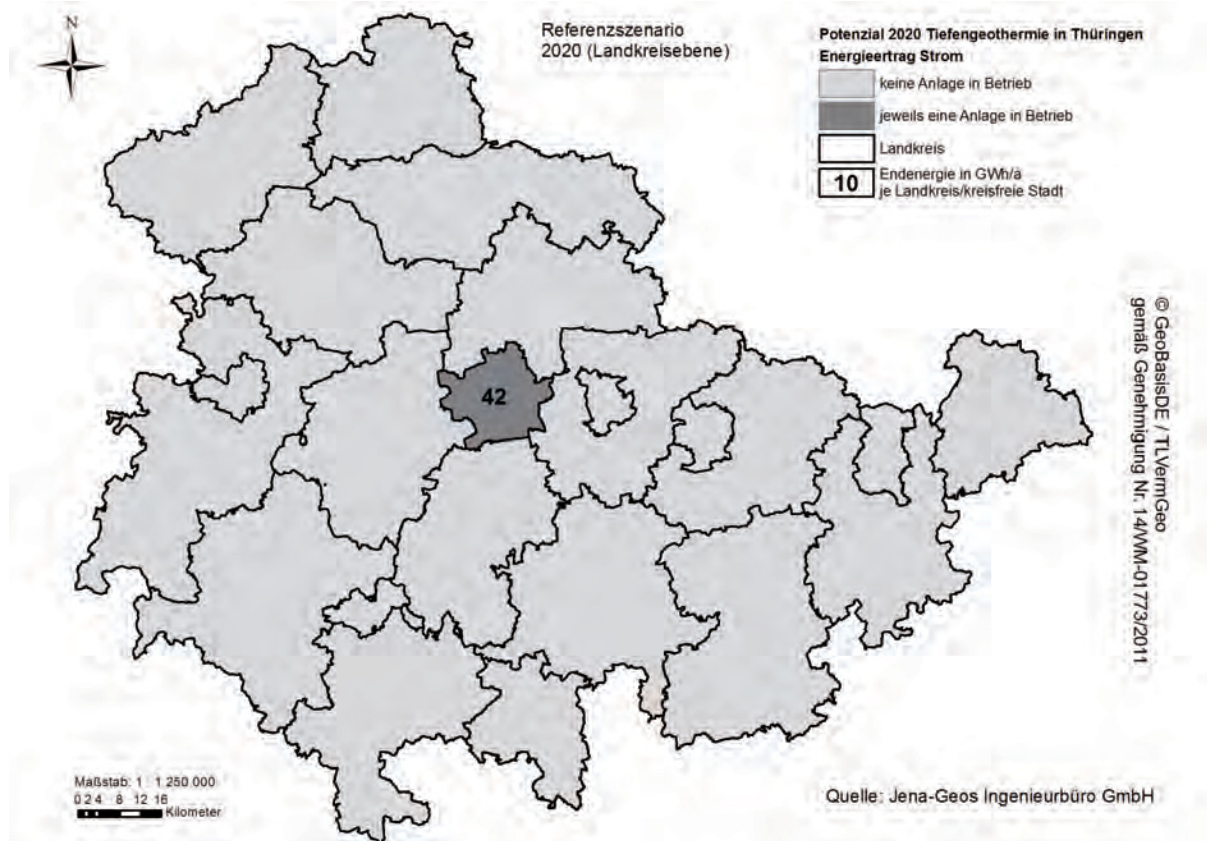




Karte 68 Aktueller Stand der Nutzung – Tiefengeothermie (elektrisch) auf Landkreisebene

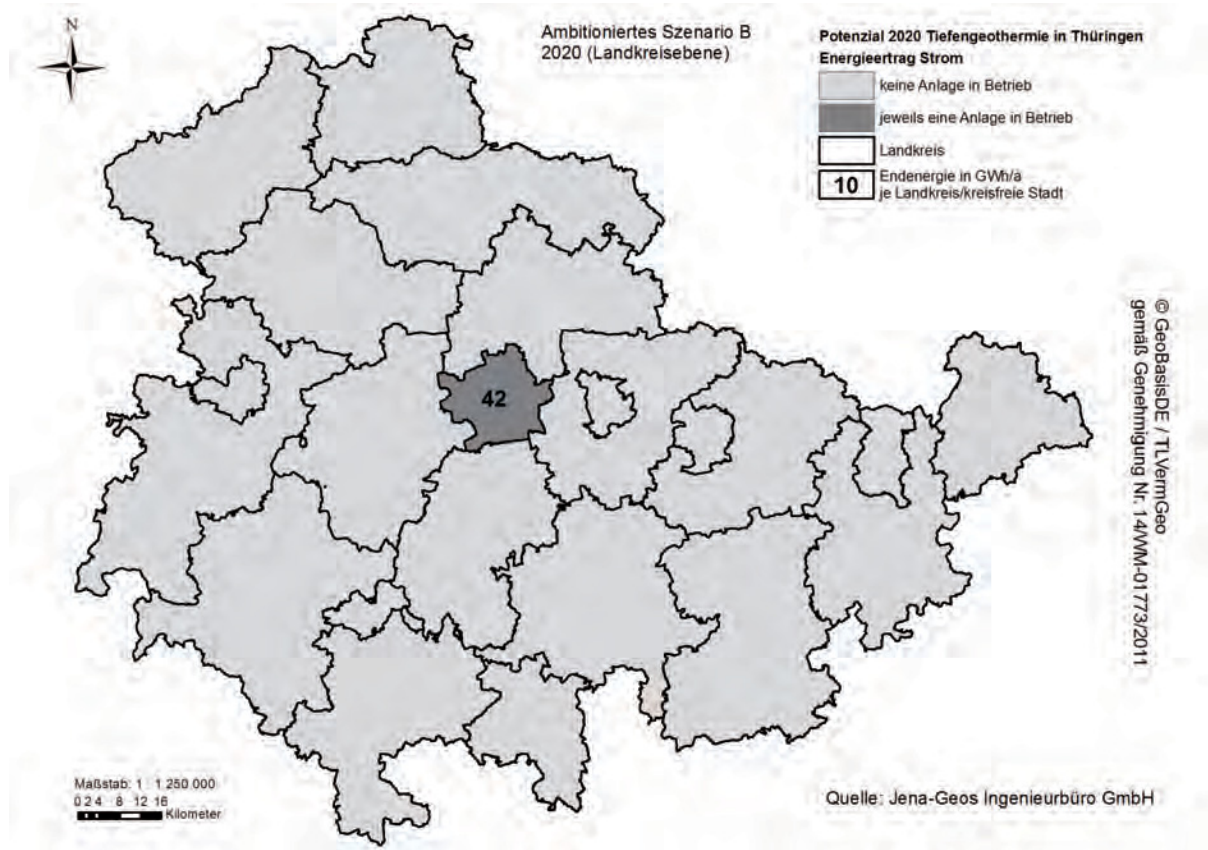


Karte 69 Potenziale der Tiefengeothermie (elektrisch) im Referenzszenario auf Landkreisebene im Jahr 2020

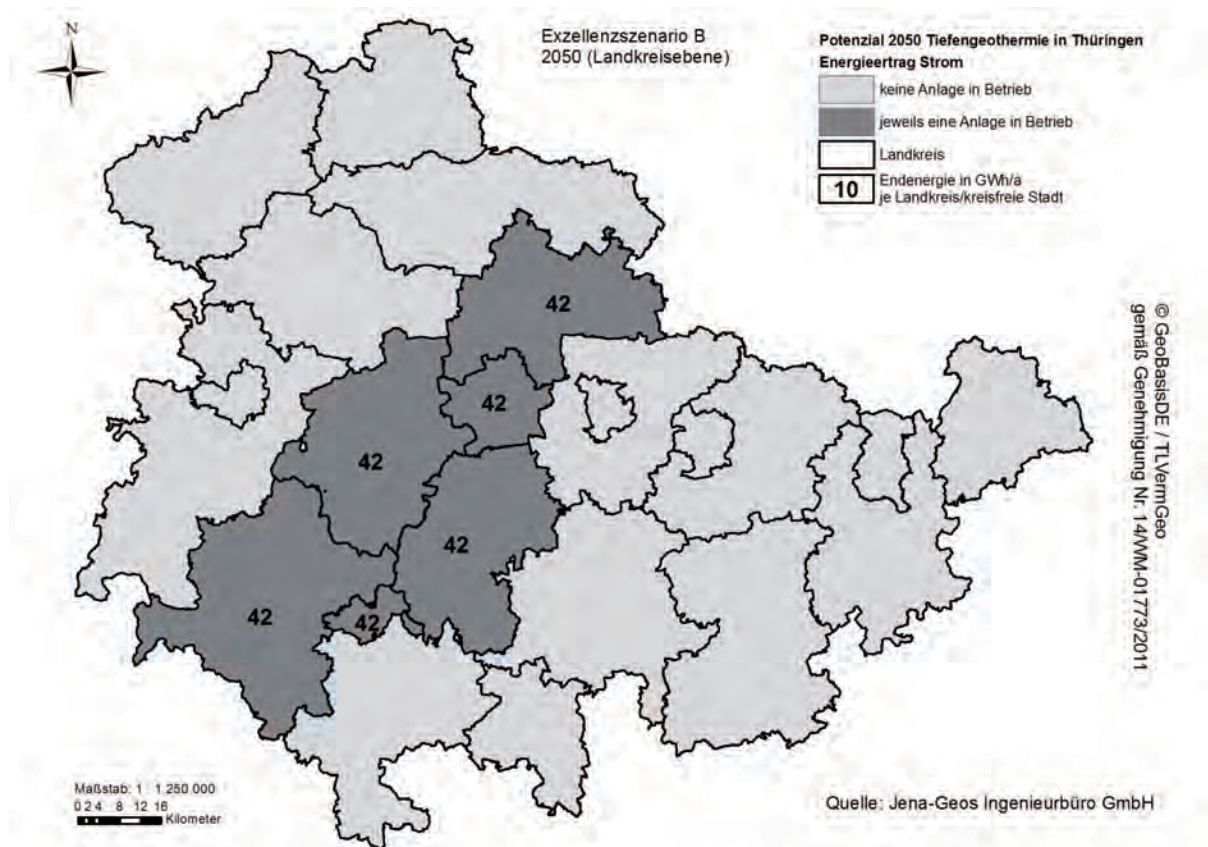




Karte 70 Potenziale der Tiefengeothermie (elektrisch) im Ambitionierten Szenario B auf Landkreisebene (2020)

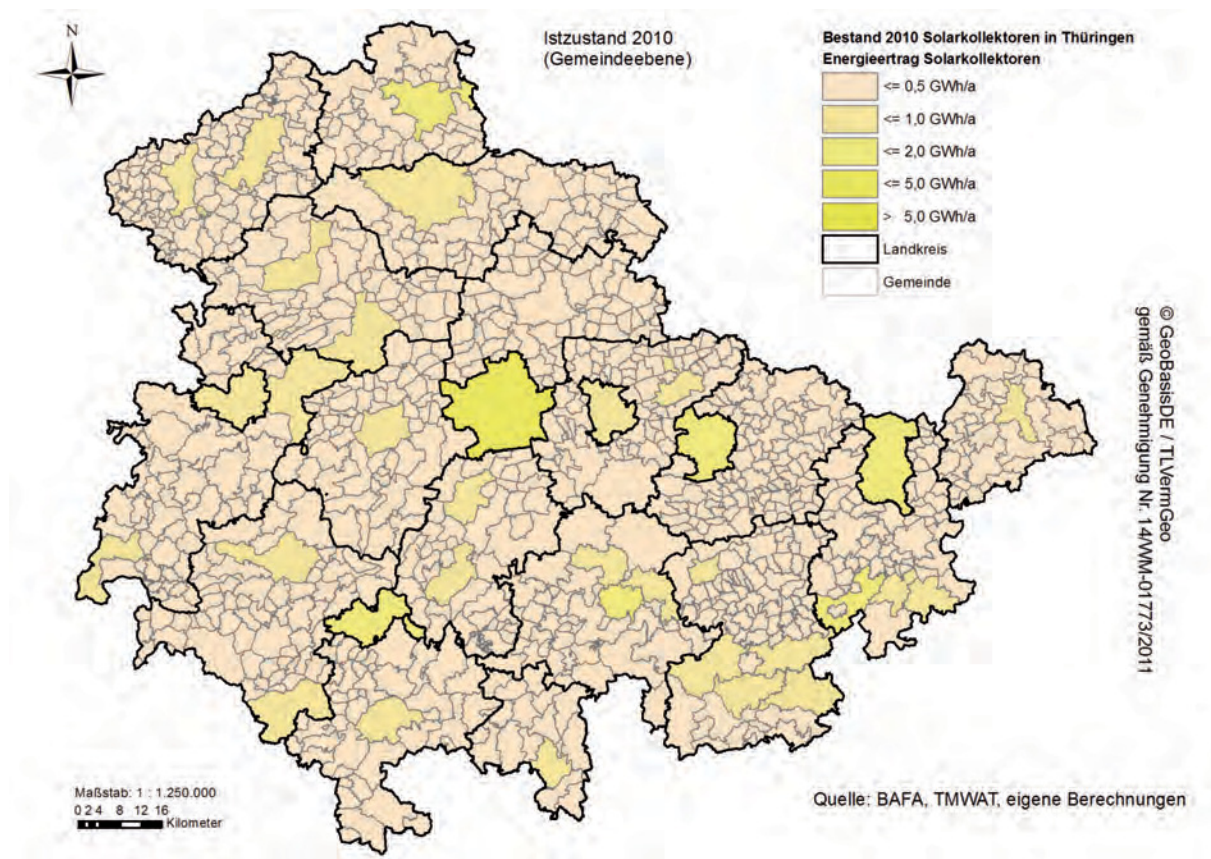


Karte 71 Potenziale der Tiefengeothermie (elektrisch) im Exzellenzszenario B auf Landkreisebene im Jahr 2050

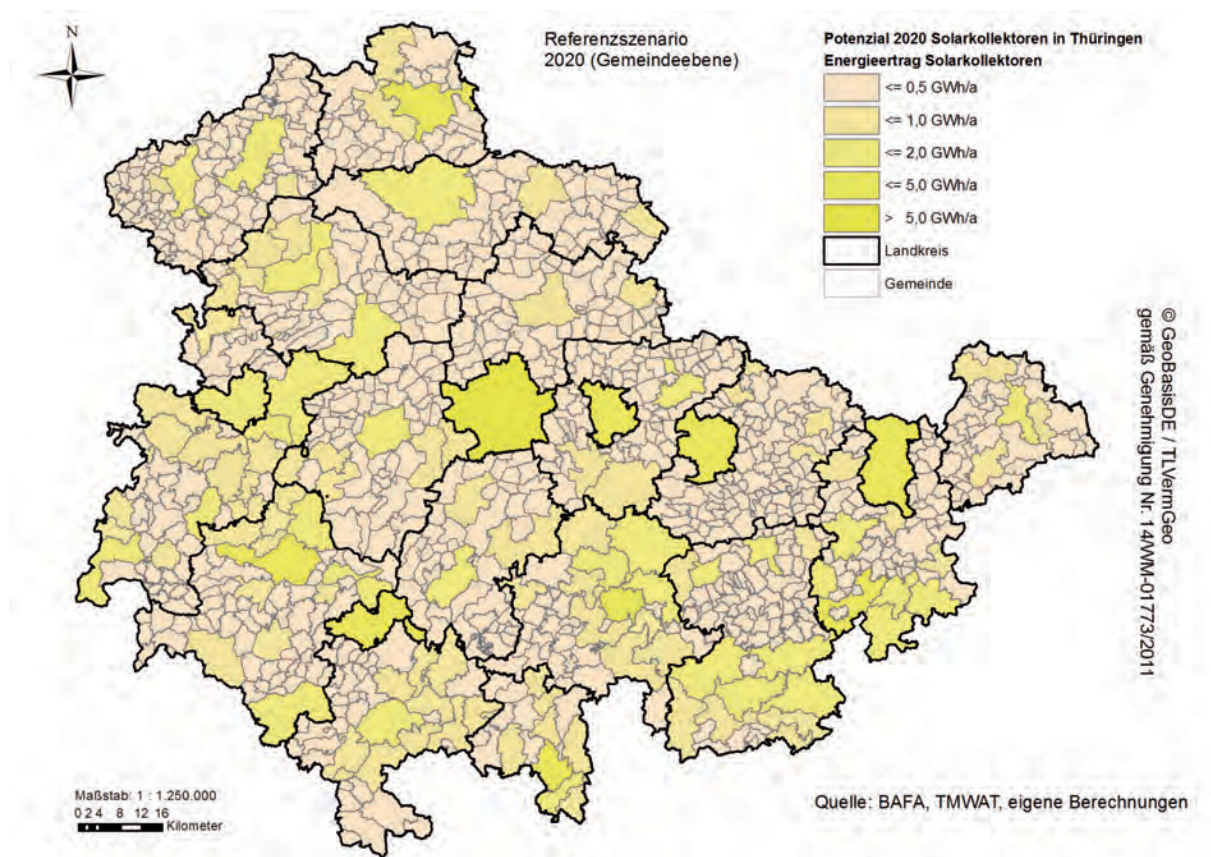




Karte 72 Aktueller Stand der Nutzung – Solarthermie auf Gemeindeebene

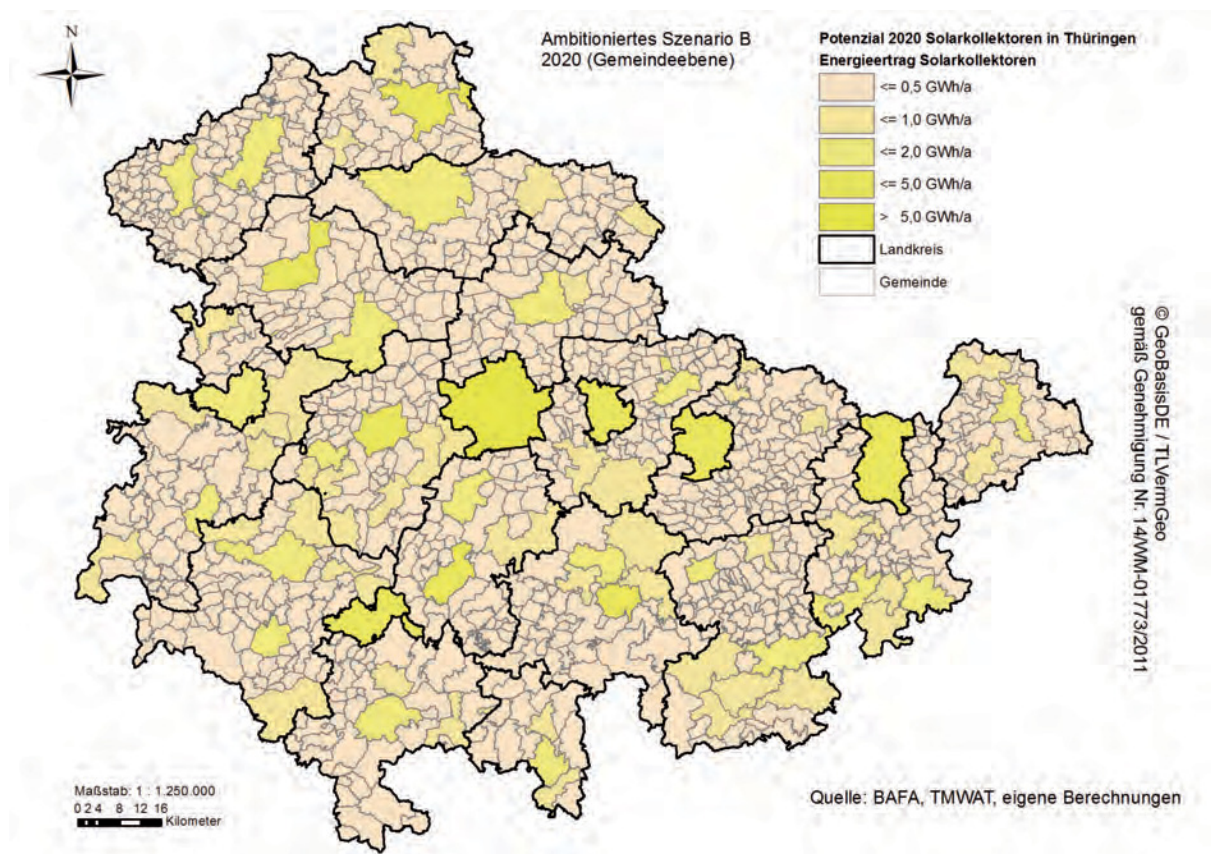


Karte 73 Potenziale der Solarthermie im Referenzszenario auf Gemeindeebene (2020)

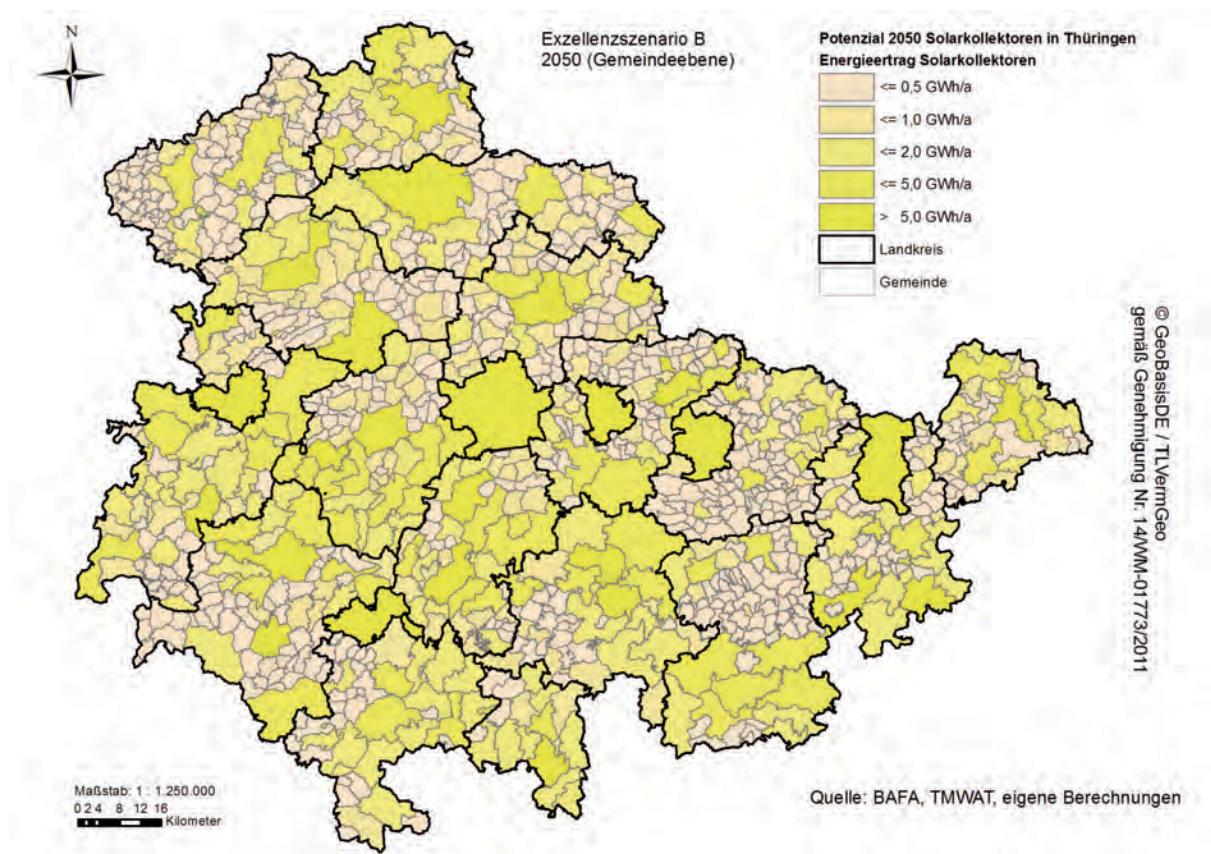




Karte 74 Potenziale der Solarthermie im Ambitionierten Szenario B auf Gemeindeebene (2020)

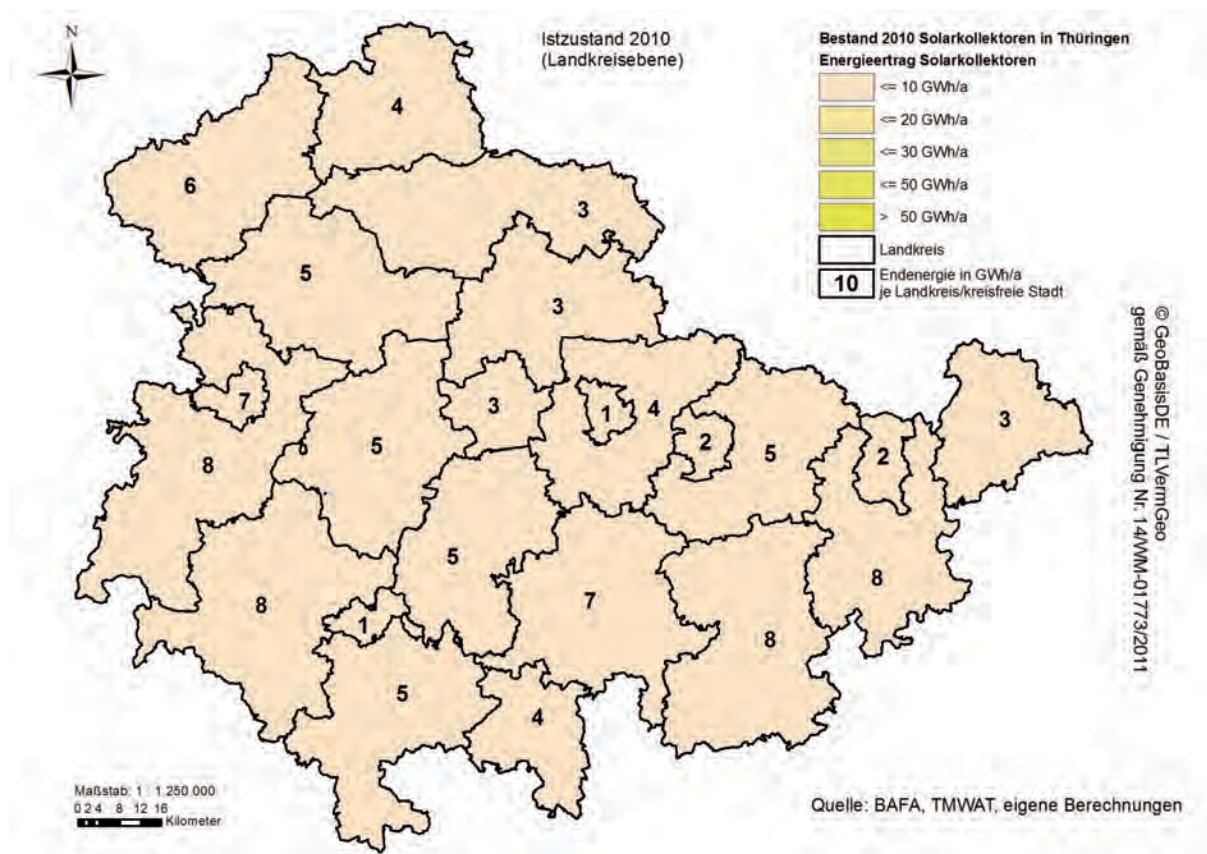


Karte 75 Potenziale der Solarthermie im Exzellenzszenario B auf Landkreisebene im Jahr 2050

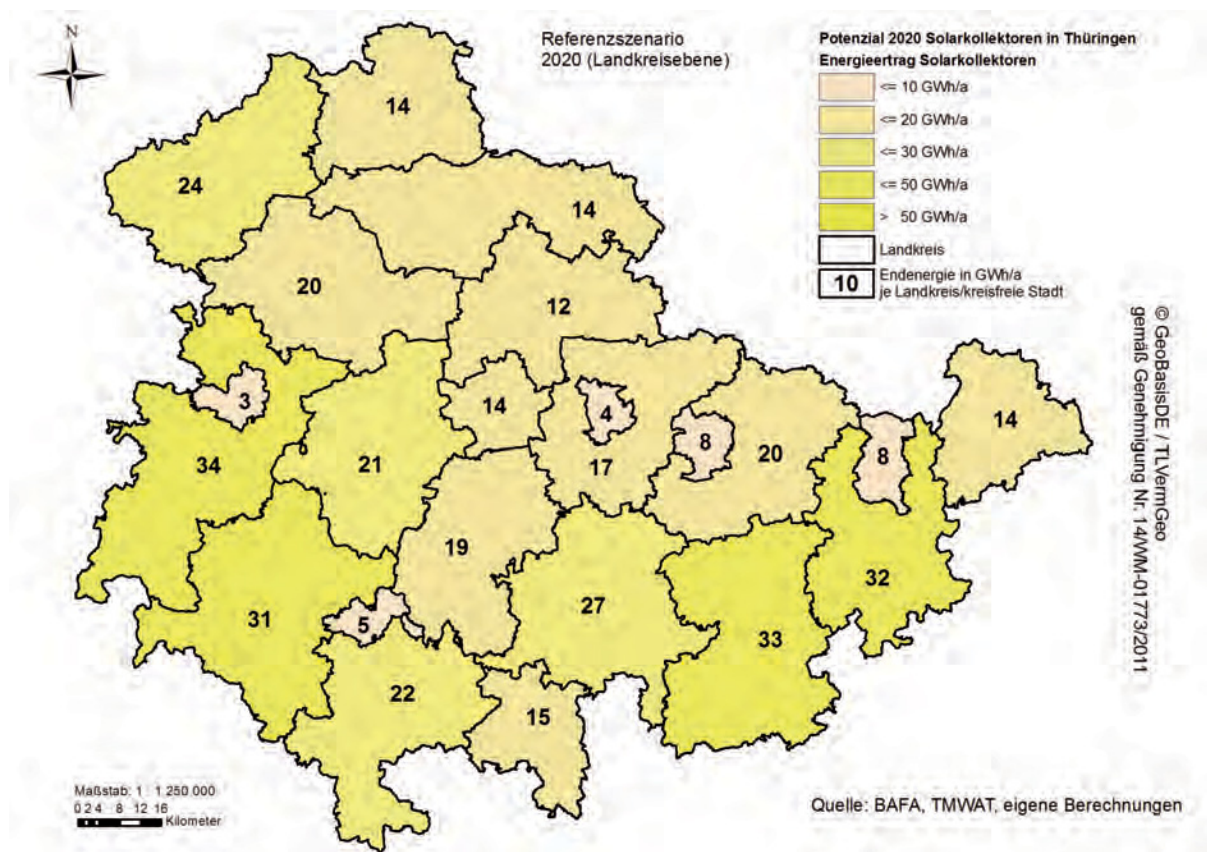




Karte 76 Aktueller Stand der Nutzung – Solarthermie auf Landkreisebene

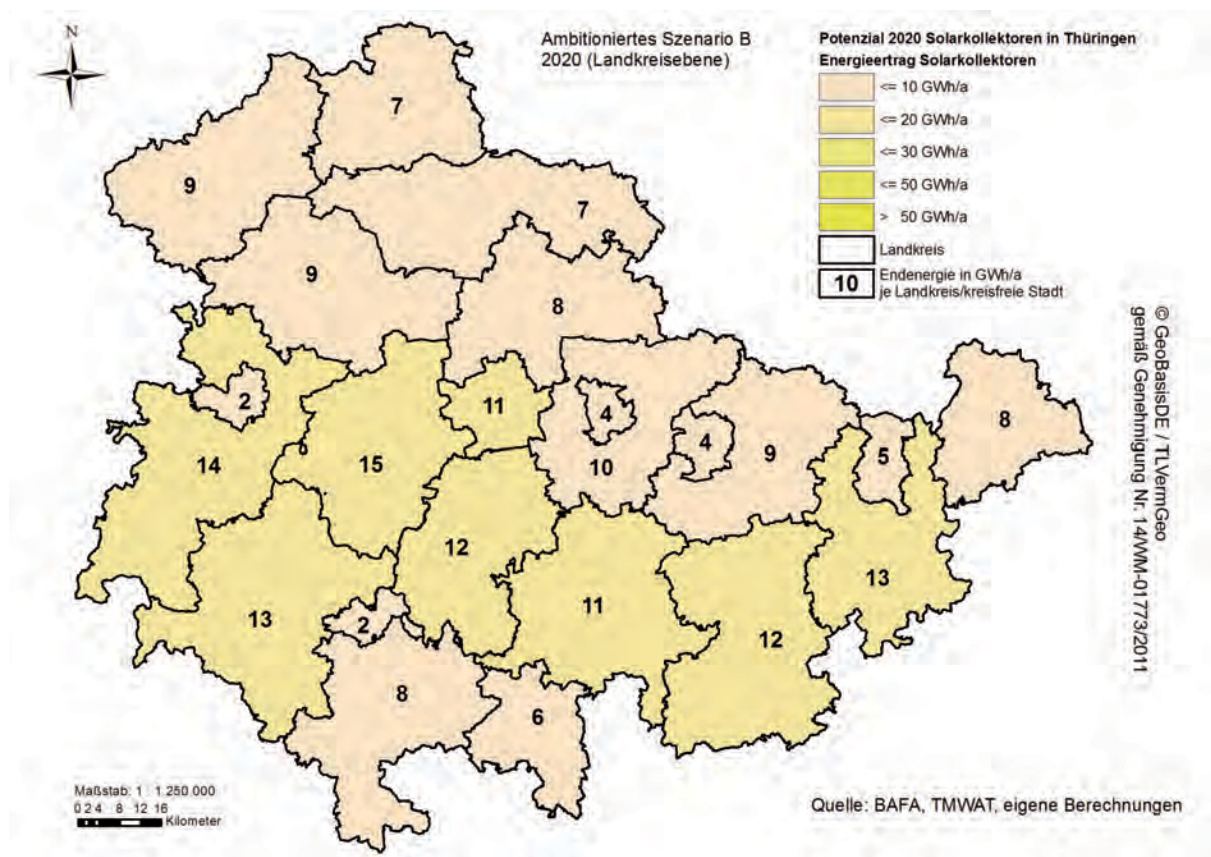


Karte 77 Potenziale der Solarthermie im Referenzszenario auf Landkreisebene im Jahr 2020

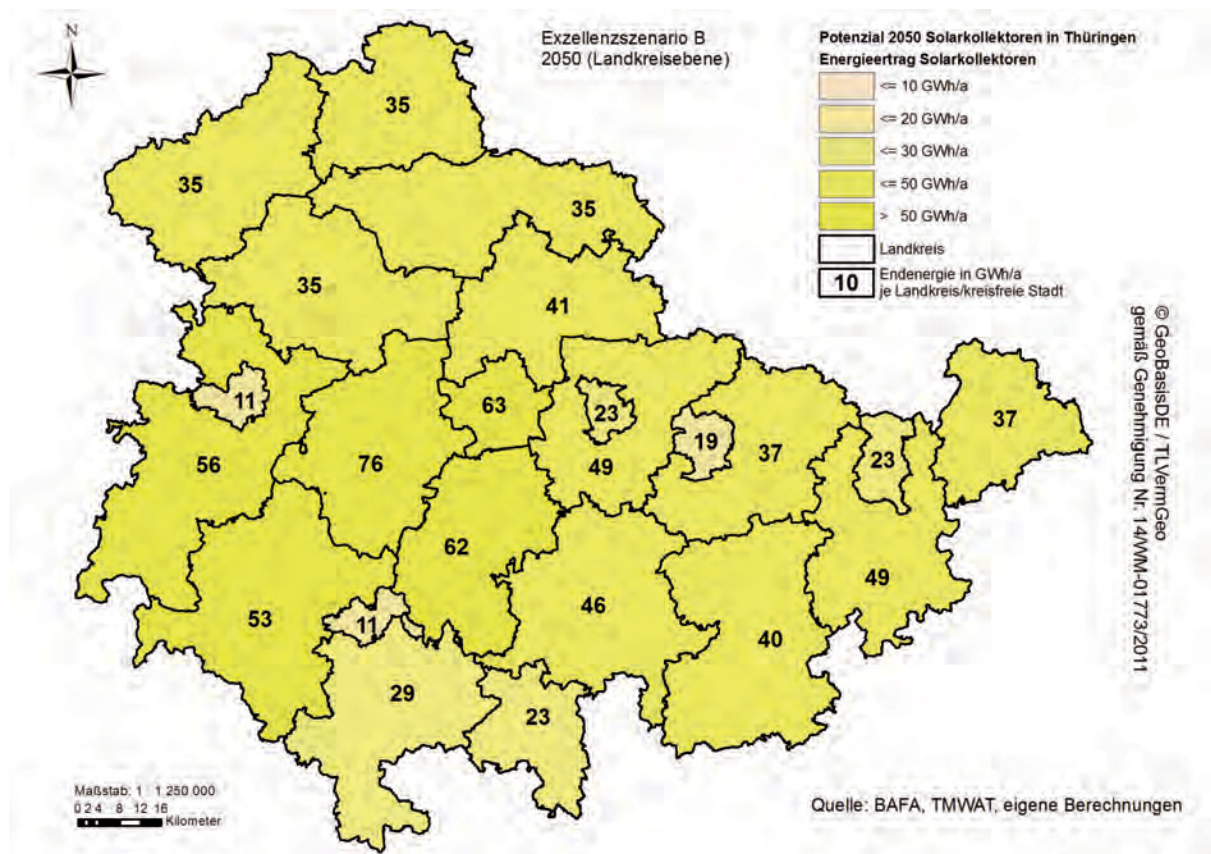




Karte 78 Potenziale der Solarthermie im Ambitionierten Szenario B auf Landkreisebene (2020)

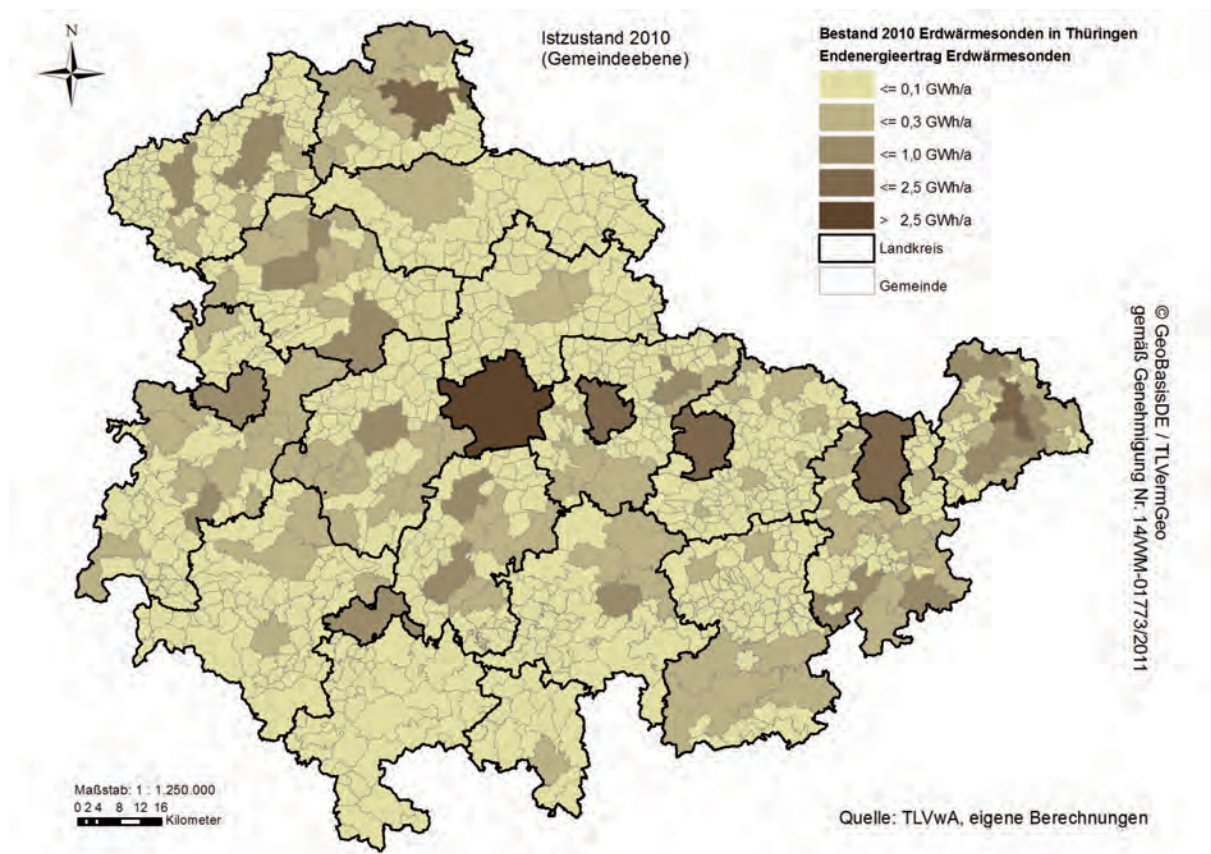


Karte 79 Potenziale der Solarthermie im Exzellenzszenario B auf Landkreisebene im Jahr 2050

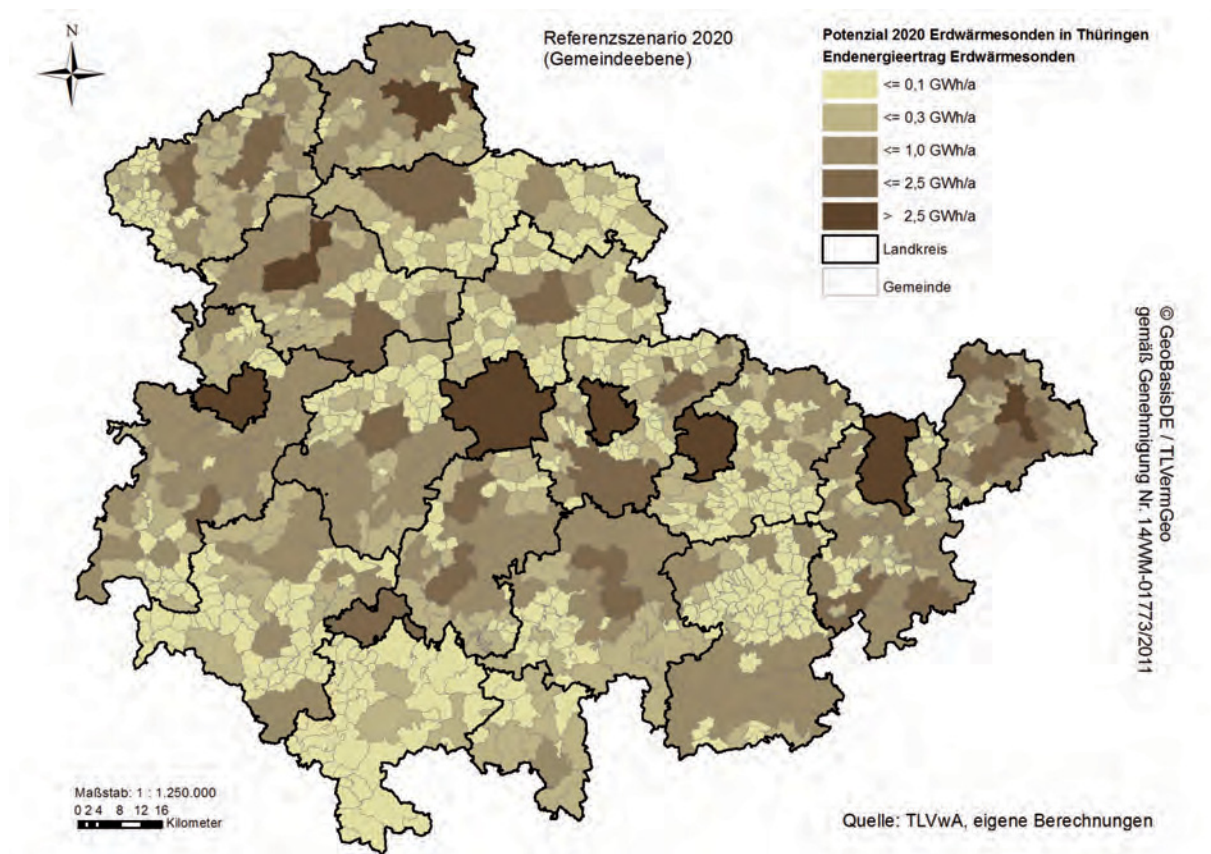




Karte 80 Aktueller Stand der Nutzung – Erdwärme auf Gemeindeebene

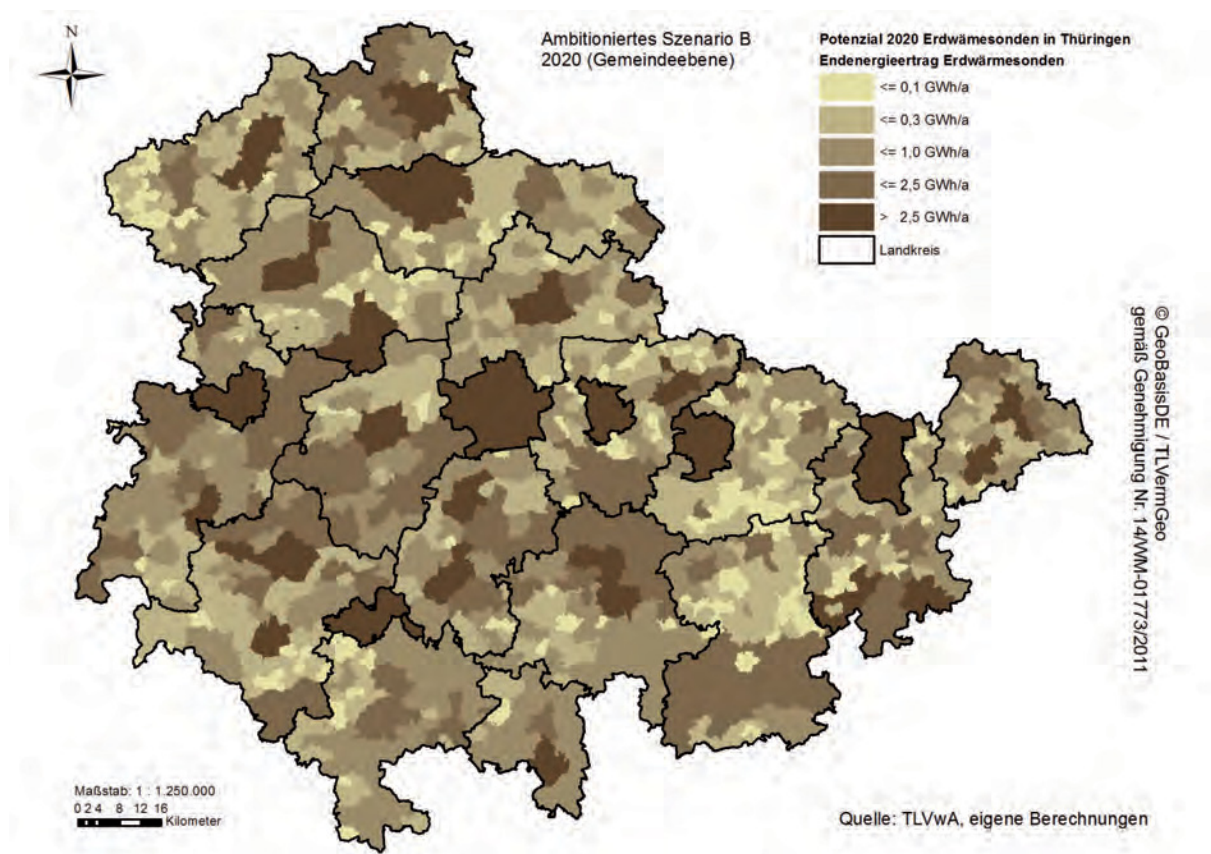


Karte 81 Potenziale der Erdwärme im Referenzszenario auf Gemeindeebene (2020)

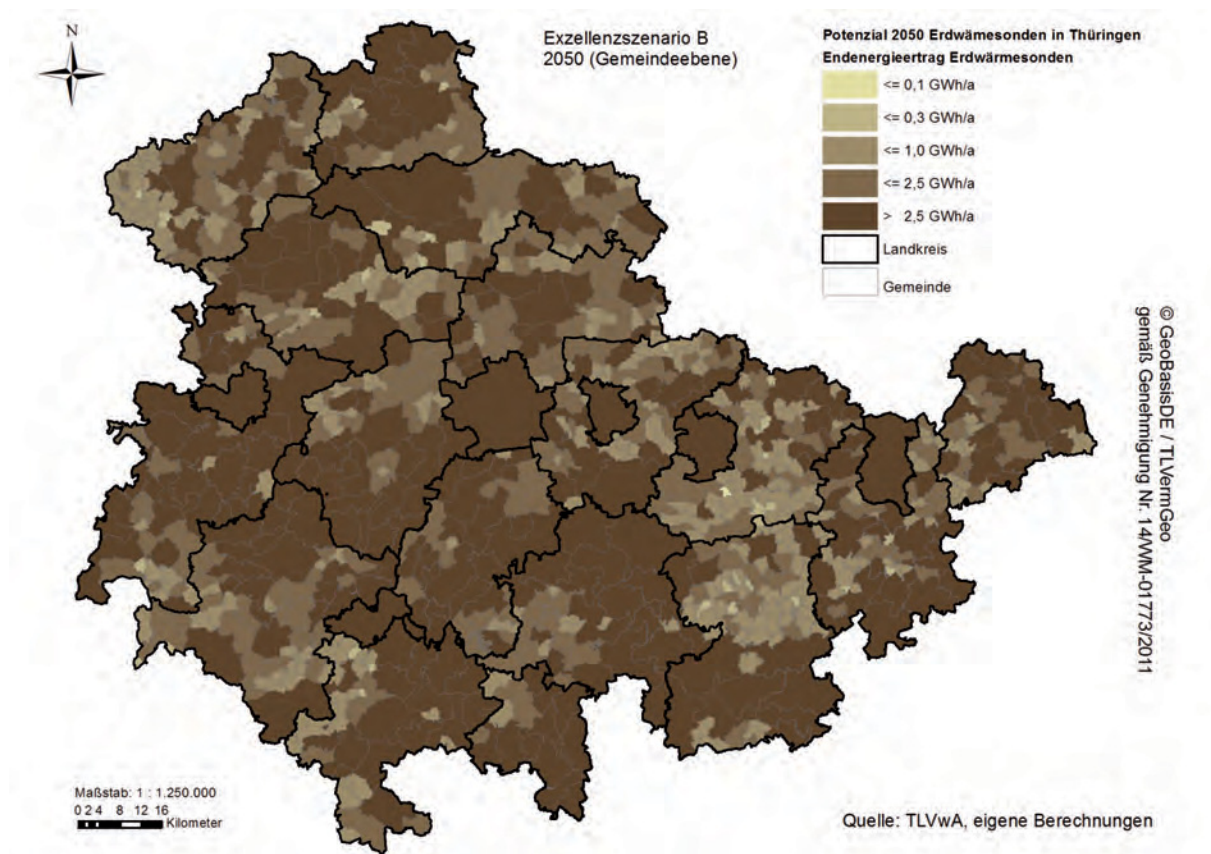




Karte 82 Potenziale der Erdwärme im Ambitionierten Szenario B auf Gemeindeebene (2020)

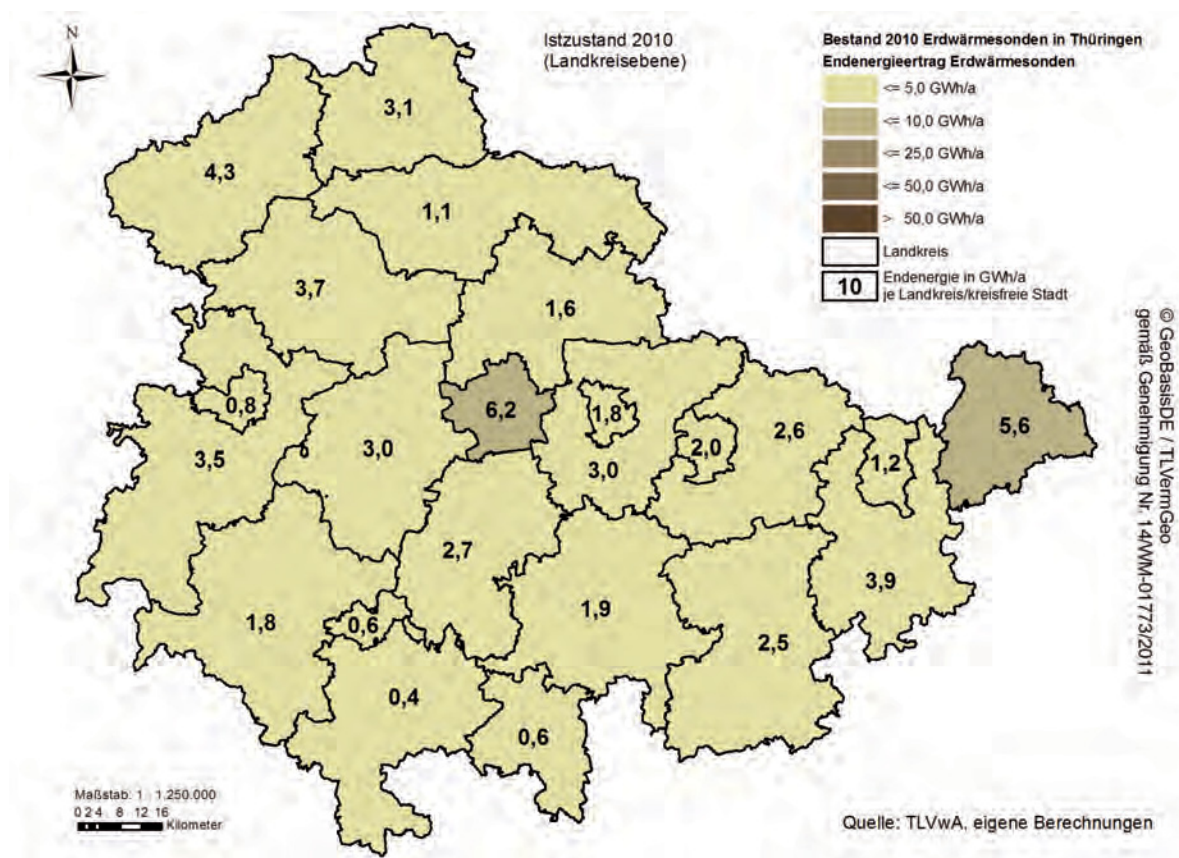


Karte 83 Potenziale der Erdwärme im Exzellenzszenario B auf Landkreisebene im Jahr 2050

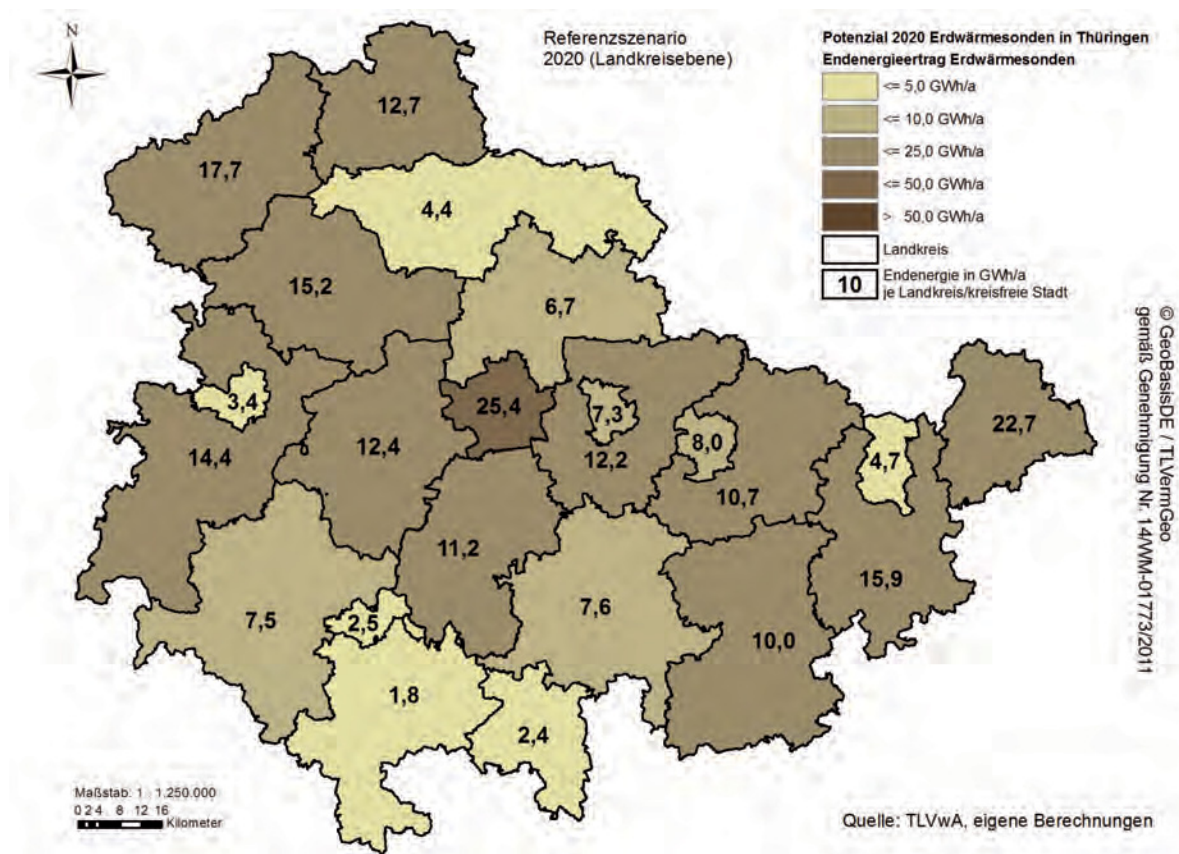




Karte 84 Aktueller Stand der Nutzung – Erdwärme auf Landkreisebene

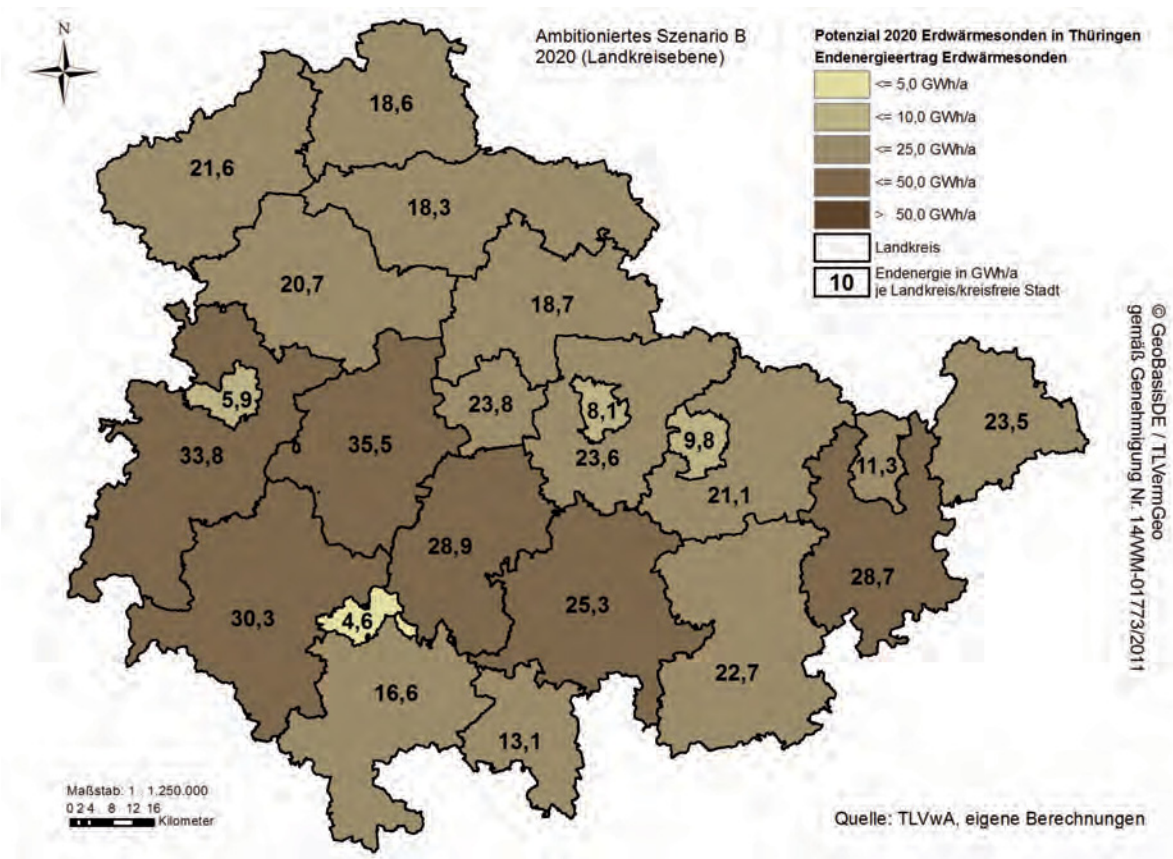


Karte 85 Potenziale der Erdwärme im Referenzszenario auf Landkreisebene im Jahr 2020

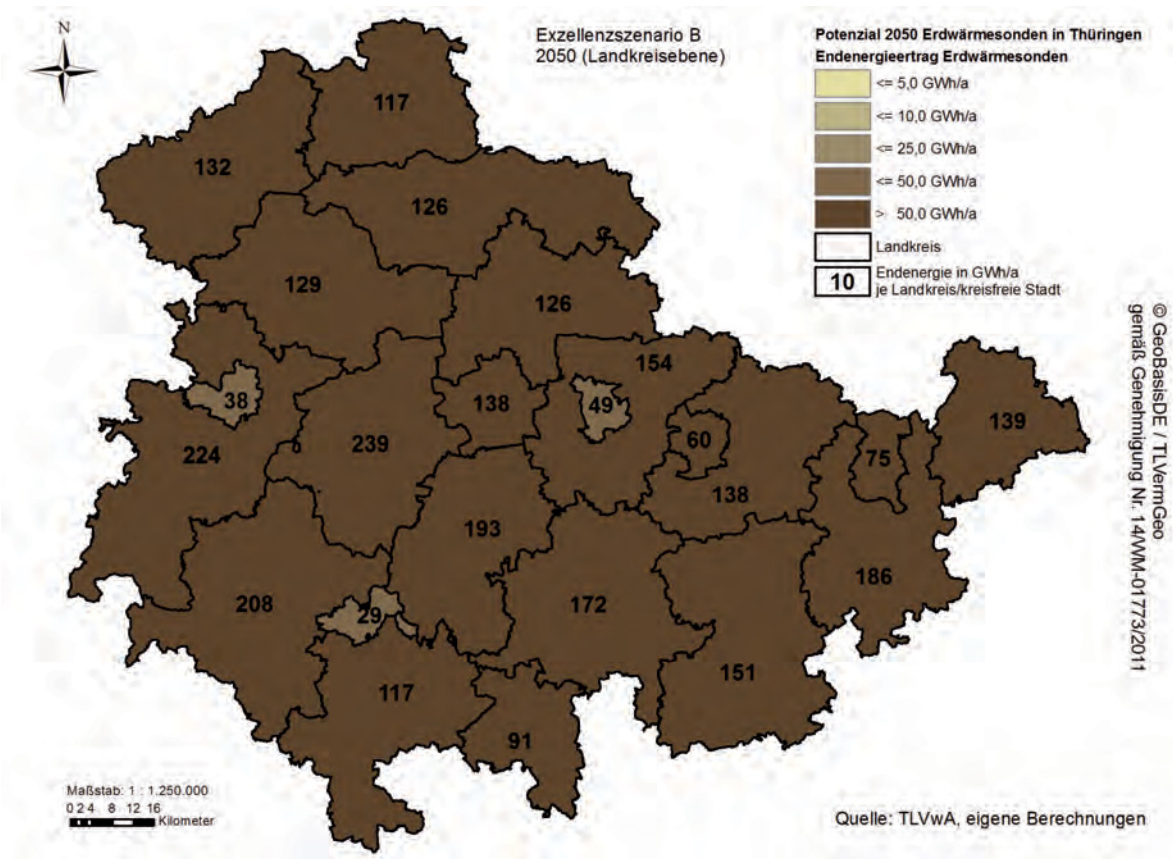




Karte 86 Potenziale der Erdwärme im Ambitionierten Szenario B auf Landkreisebene (2020)

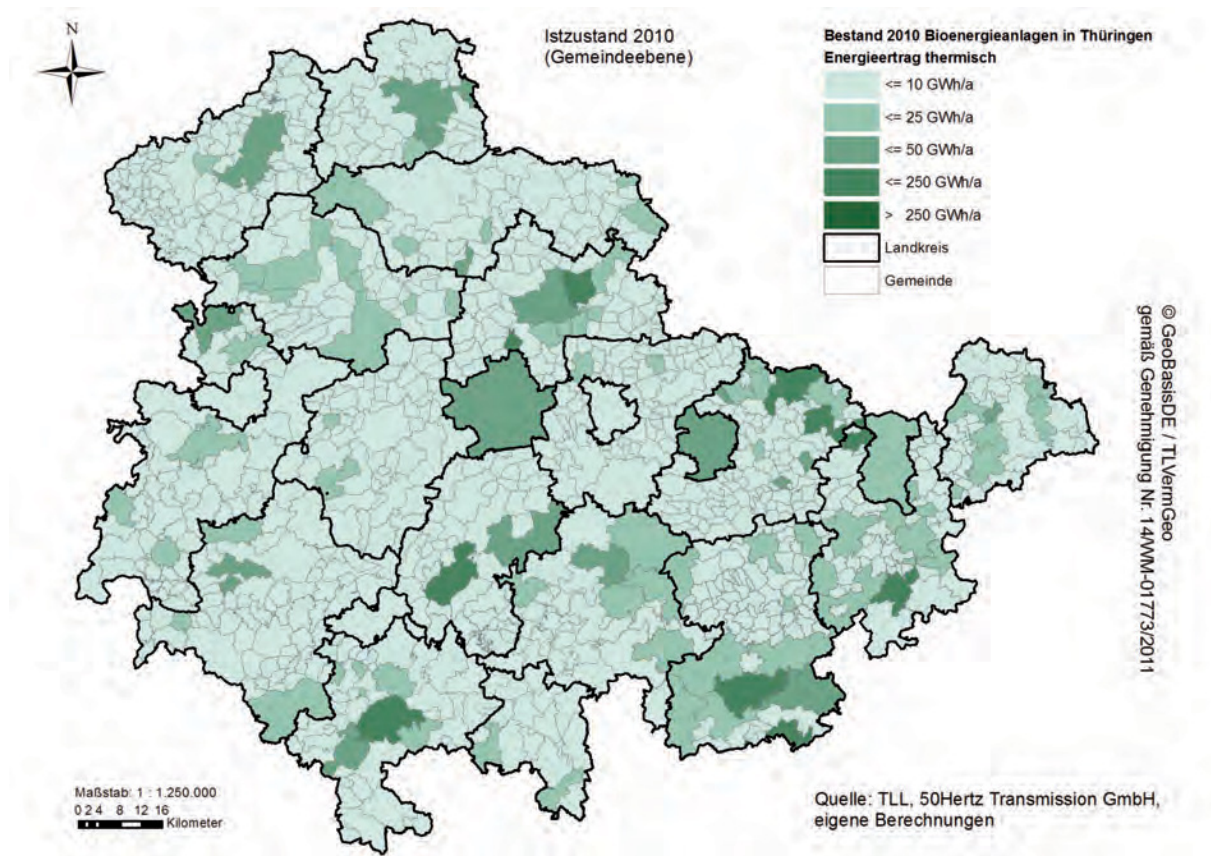


Karte 87 Potenziale der Erdwärme im Exzellenzszenario B auf Landkreisebene im Jahr 2050

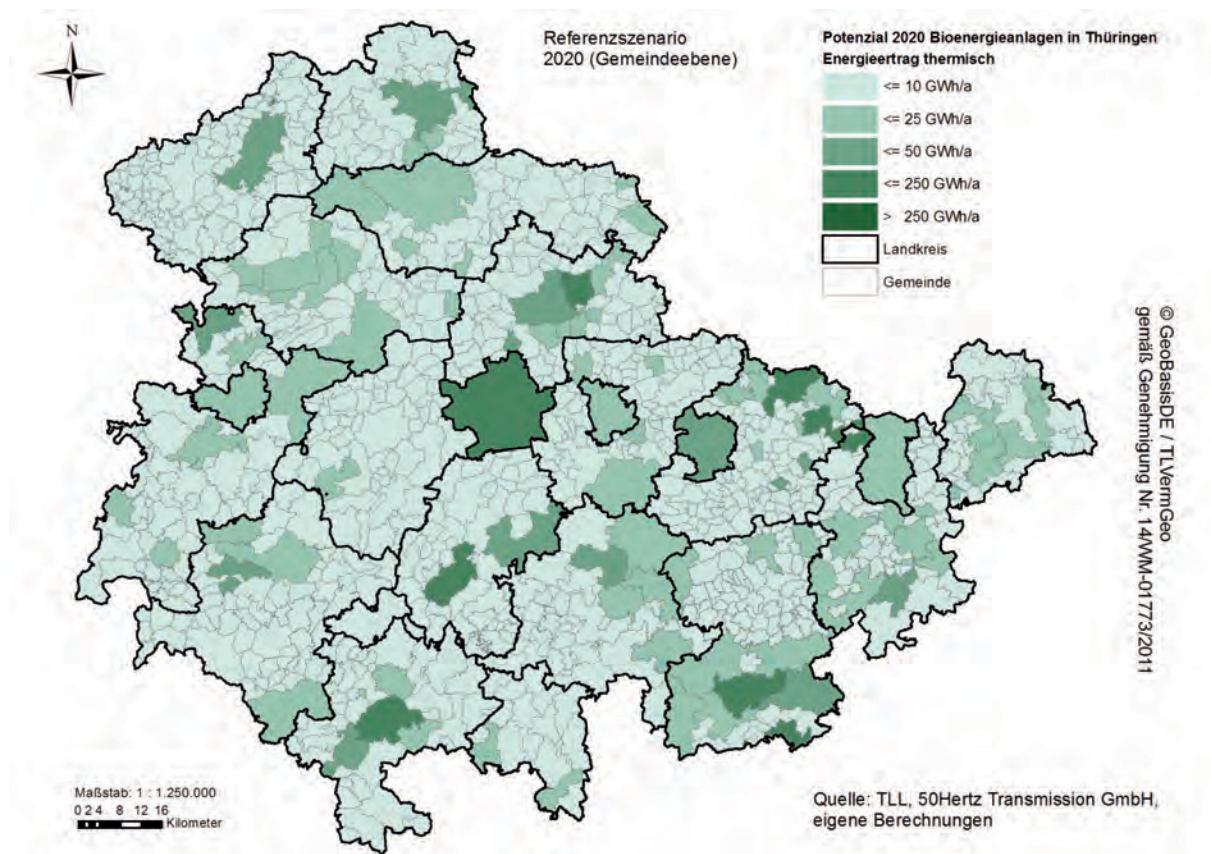




Karte 88 Aktueller Stand der Nutzung – Biomasse (thermisch) auf Gemeindeebene

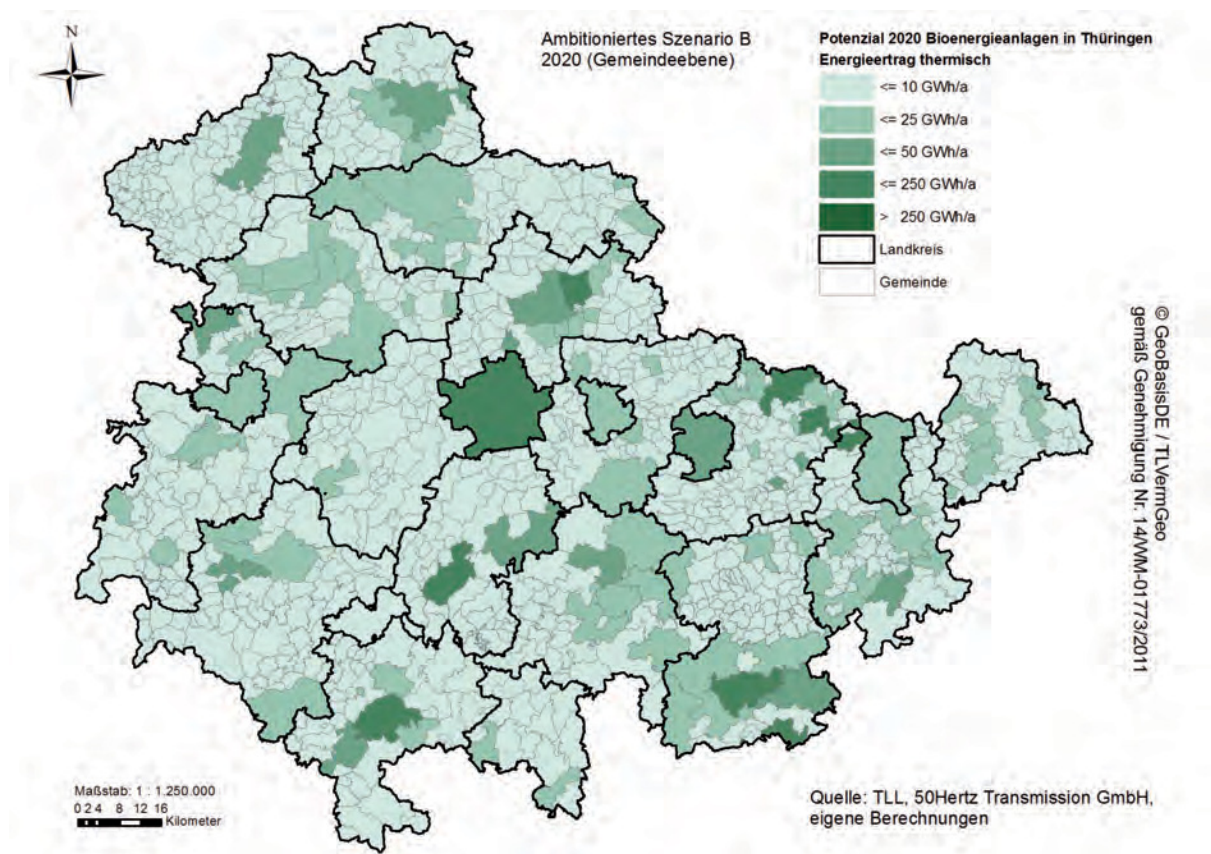


Karte 89 Potenziale der Biomasse (thermisch) im Referenzszenario auf Gemeindeebene (2020)

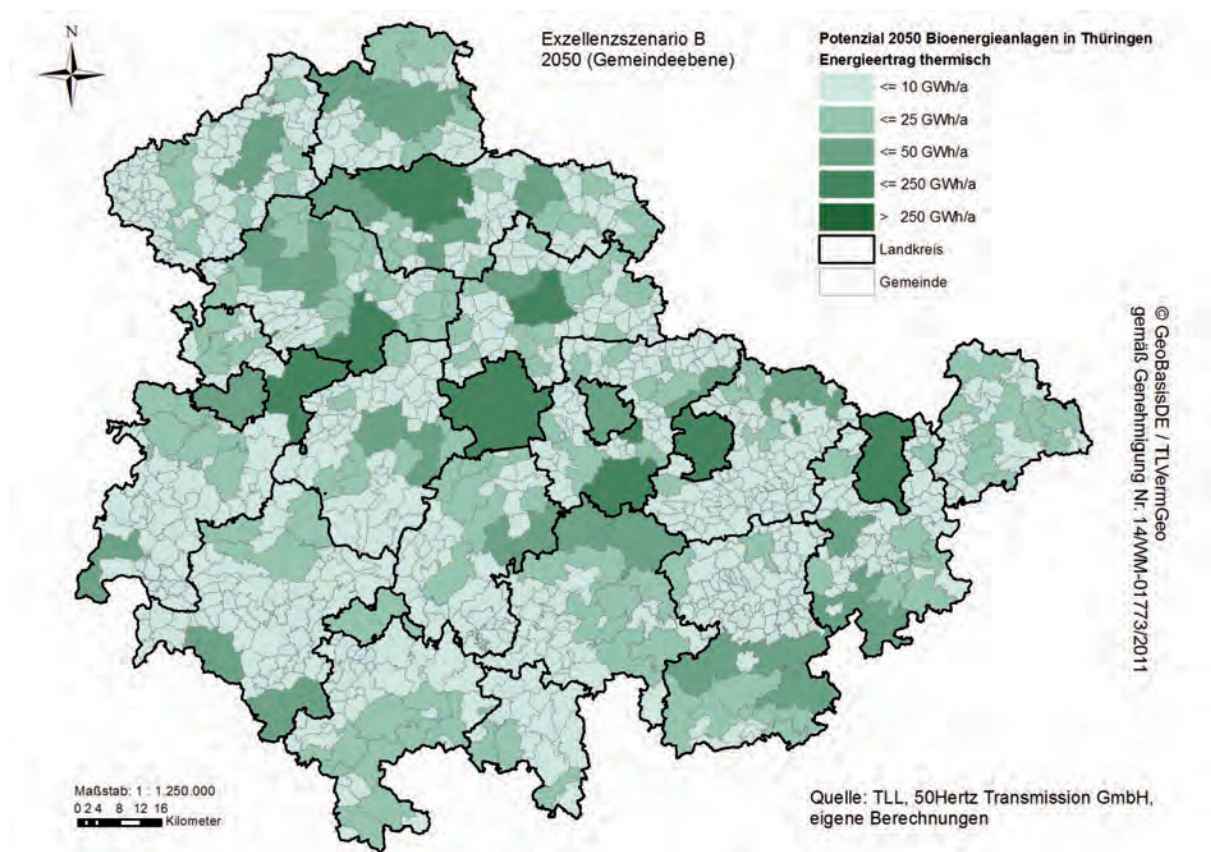




Karte 90 Potenziale der Biomasse (thermisch) im Ambitionierten Szenario B auf Gemeindeebene (2020)

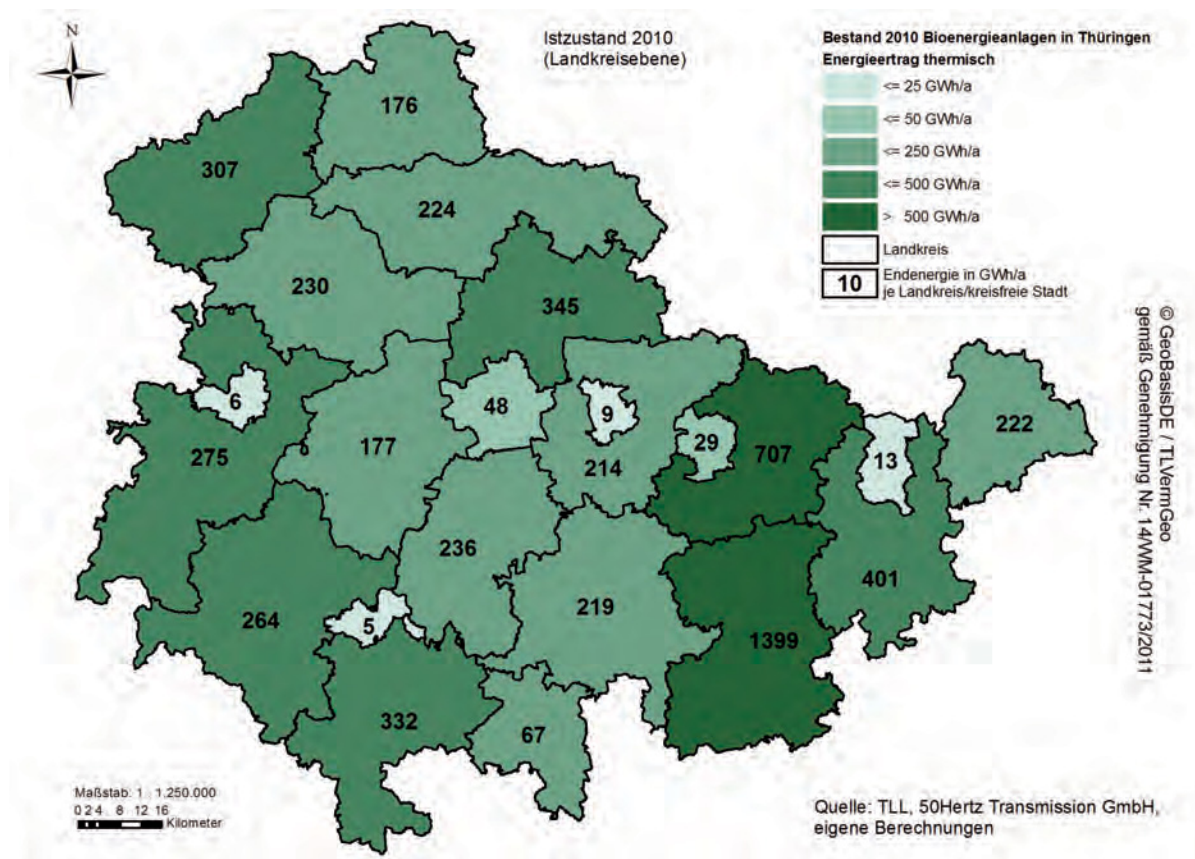


Karte 91 Potenziale der Biomasse (thermisch) im Exzellenzszenario B auf Landkreisebene im Jahr 2050

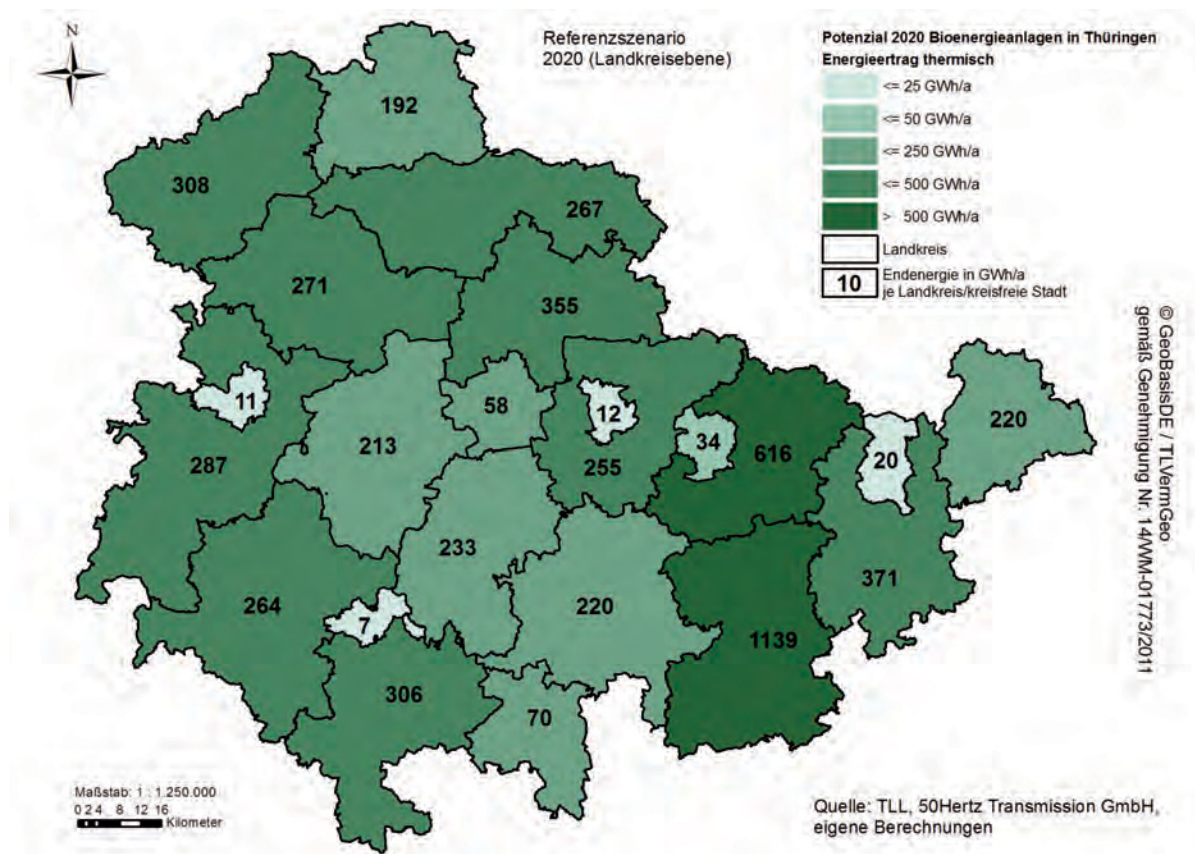




Karte 92 Aktueller Stand der Nutzung – Biomasse (thermisch) auf Landkreisebene

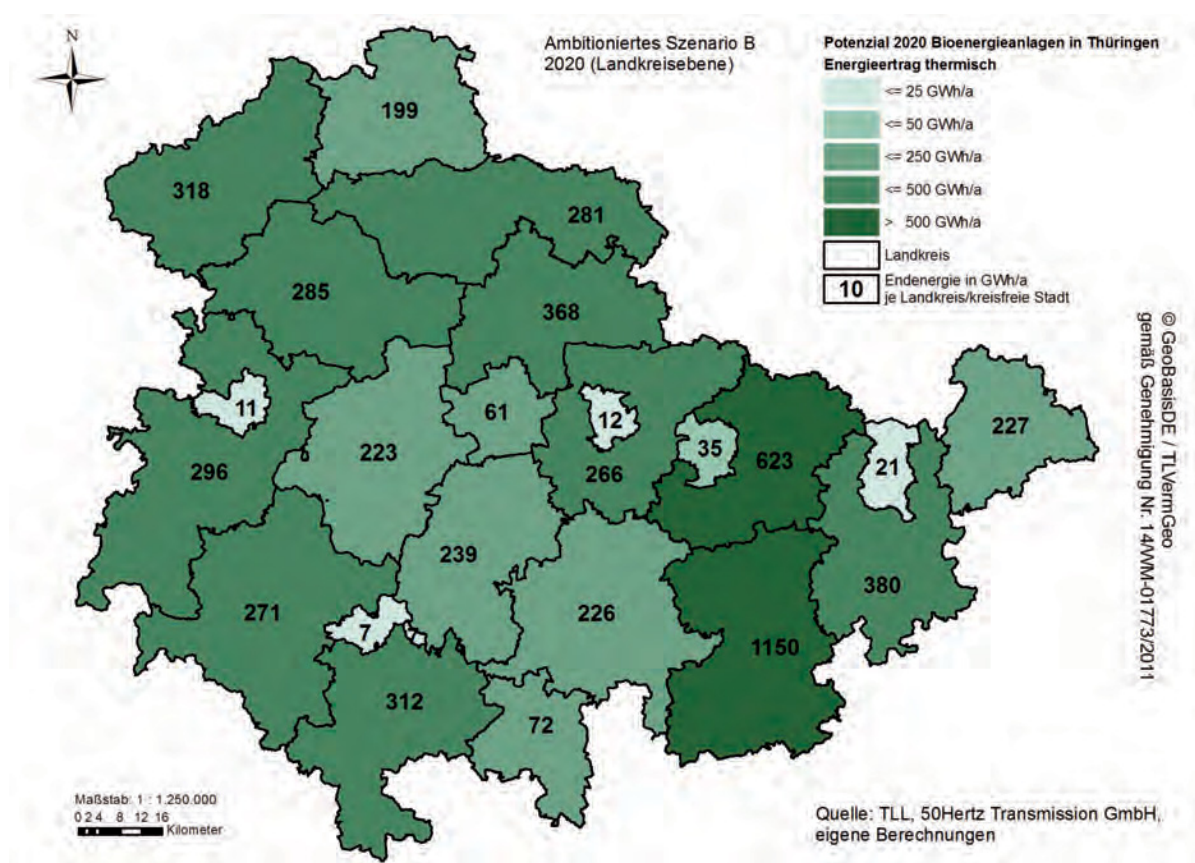


Karte 93 Potenziale der Biomasse (thermisch) im Referenzszenario auf Landkreisebene im Jahr 2020

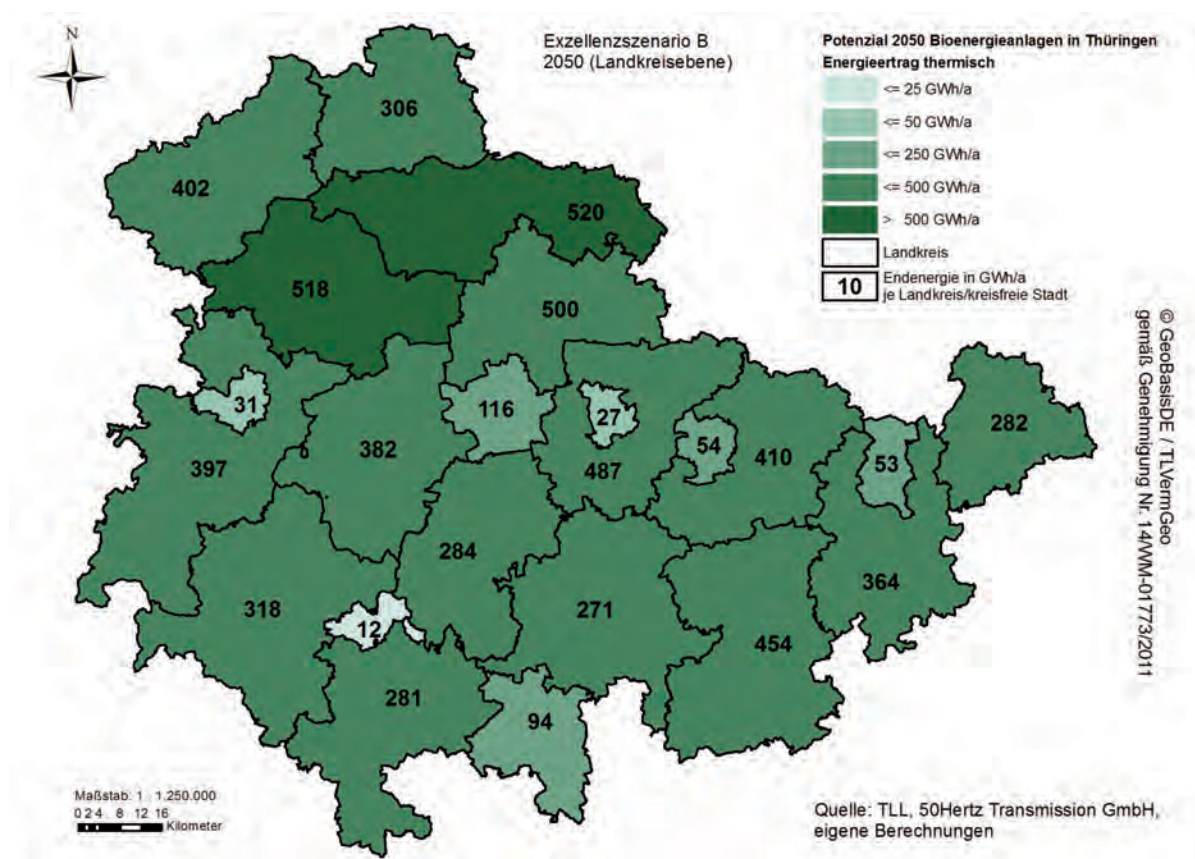




Karte 94 Potenziale der Biomasse (thermisch) im Ambitionierten Szenario B auf Landkreisebene (2020)

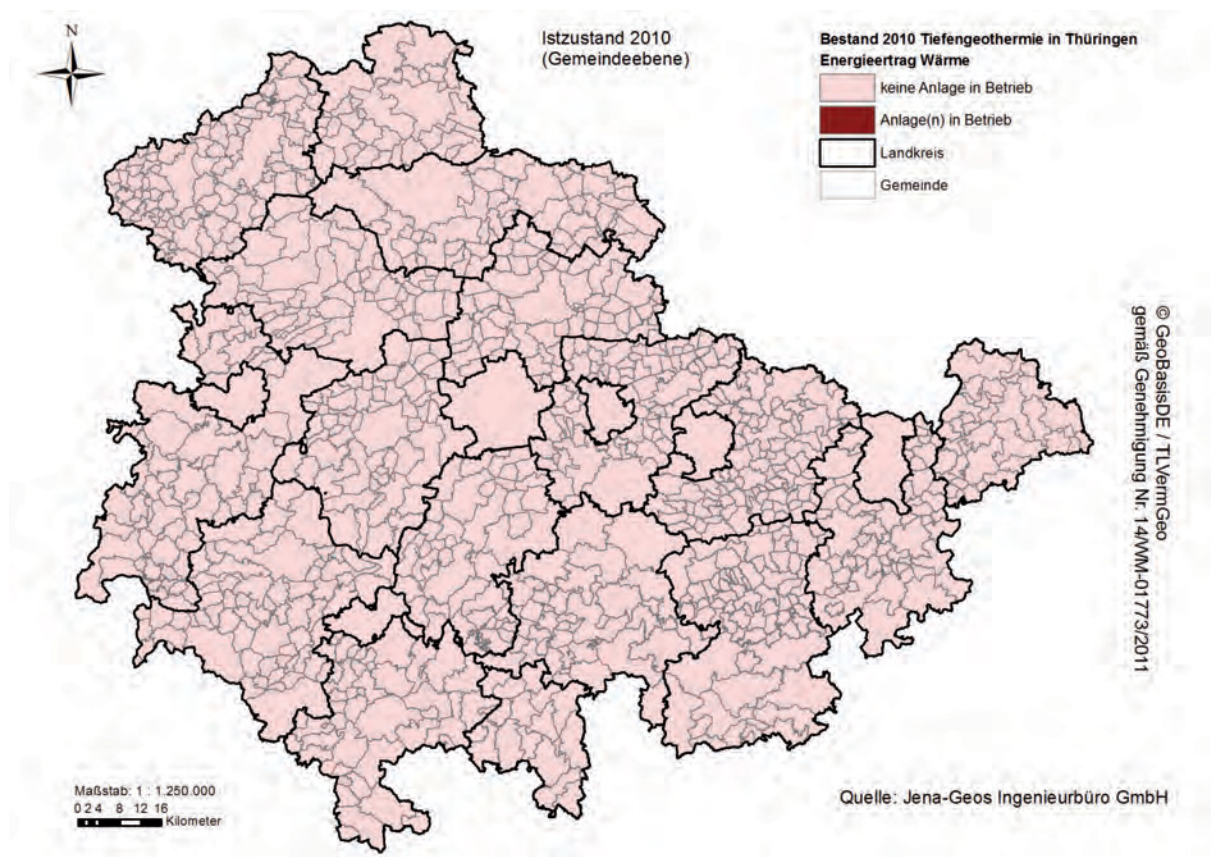


Karte 95 Potenziale der Biomasse (thermisch) im Exzellenzszenario B auf Landkreisebene im Jahr 2050

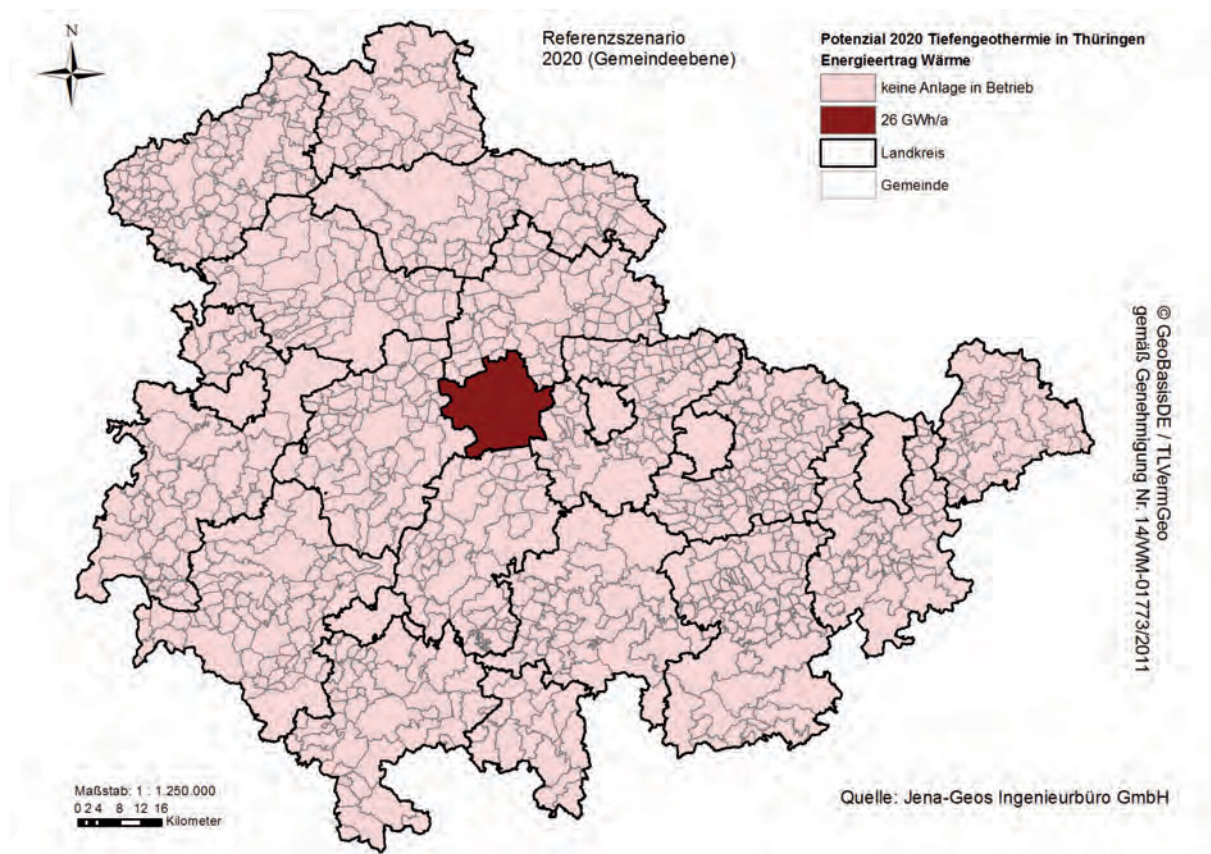




Karte 96 Aktueller Stand der Nutzung – Tiefengeothermie (thermisch) auf Gemeindeebene

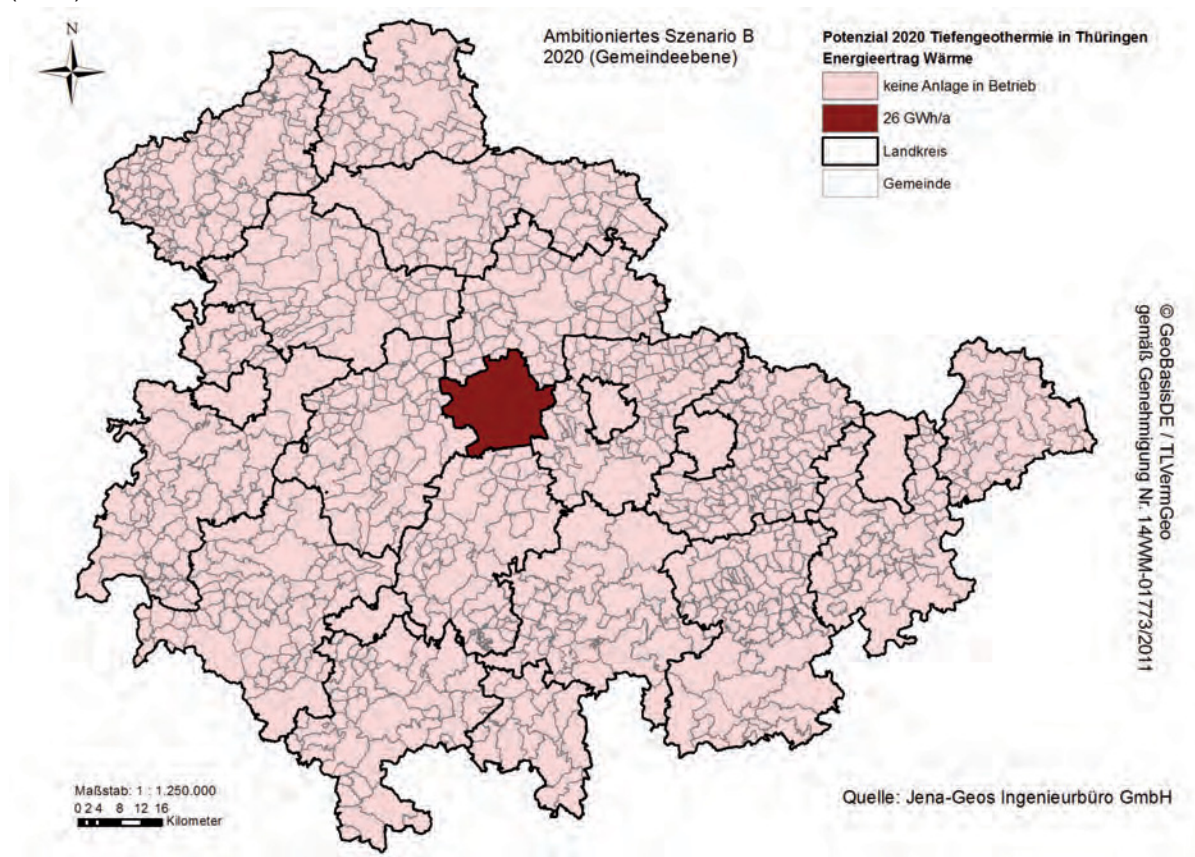


Karte 97 Potenziale der Tiefengeothermie (thermisch) im Referenzszenario auf Gemeindeebene (2020)

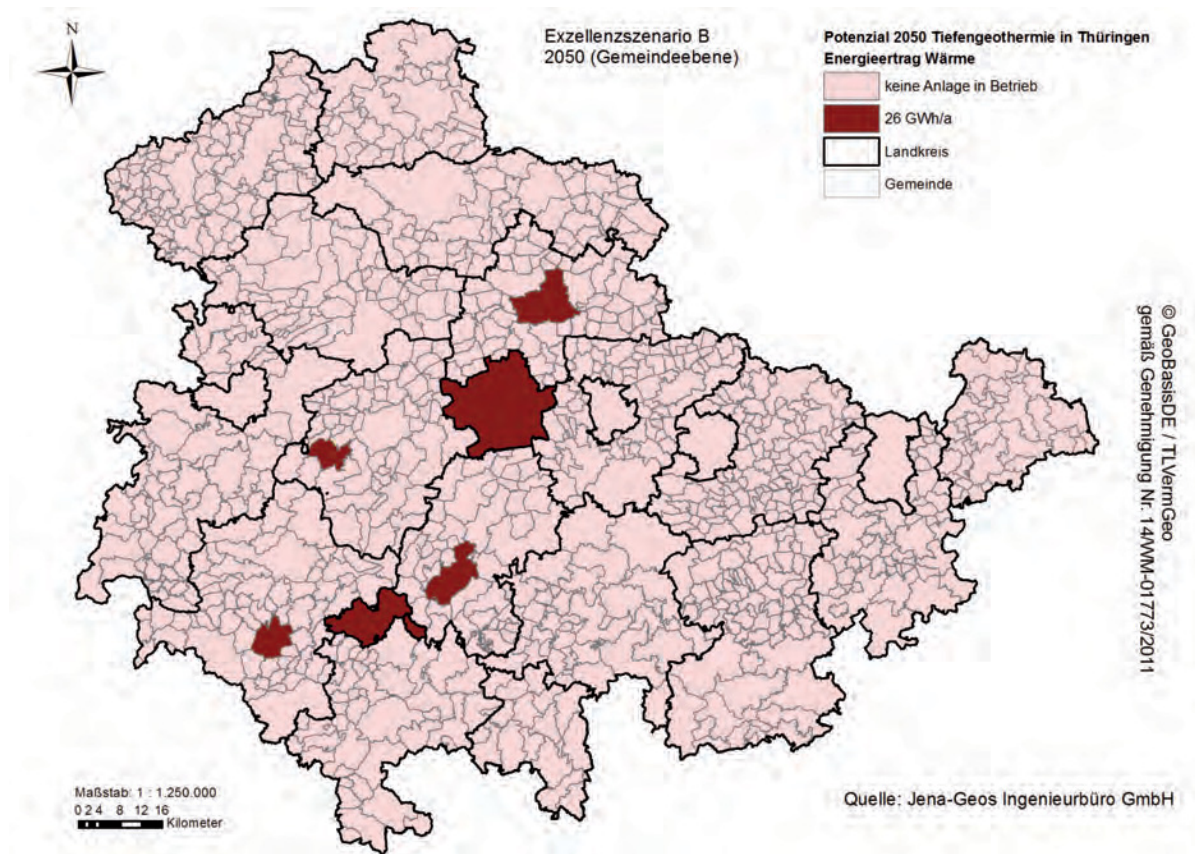




Karte 98 Potenziale der Tiefengeothermie (thermisch) im Ambitionierten Szenario B auf Gemeindeebene (2020)

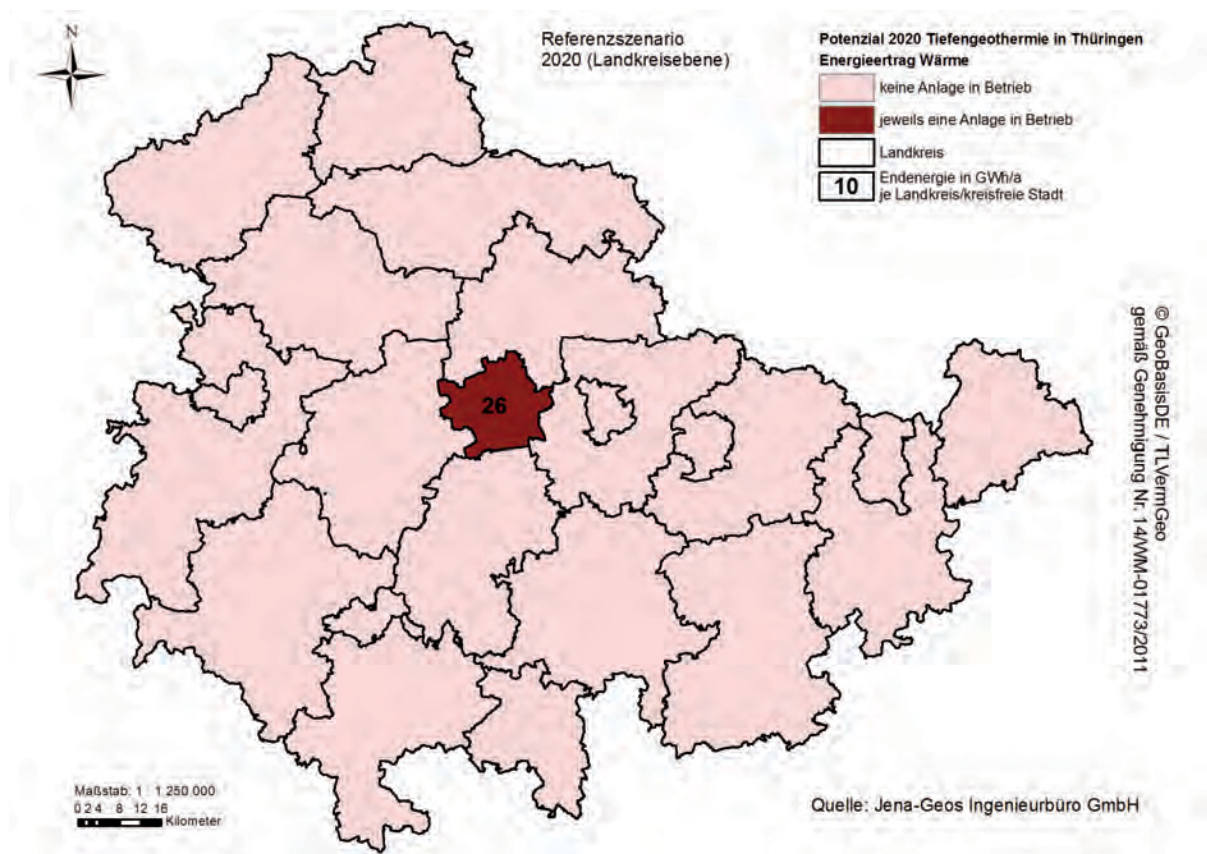


Karte 99 Potenziale der Tiefengeothermie (thermisch) im Exzellenzszenario B auf Landkreisebene im Jahr 2050

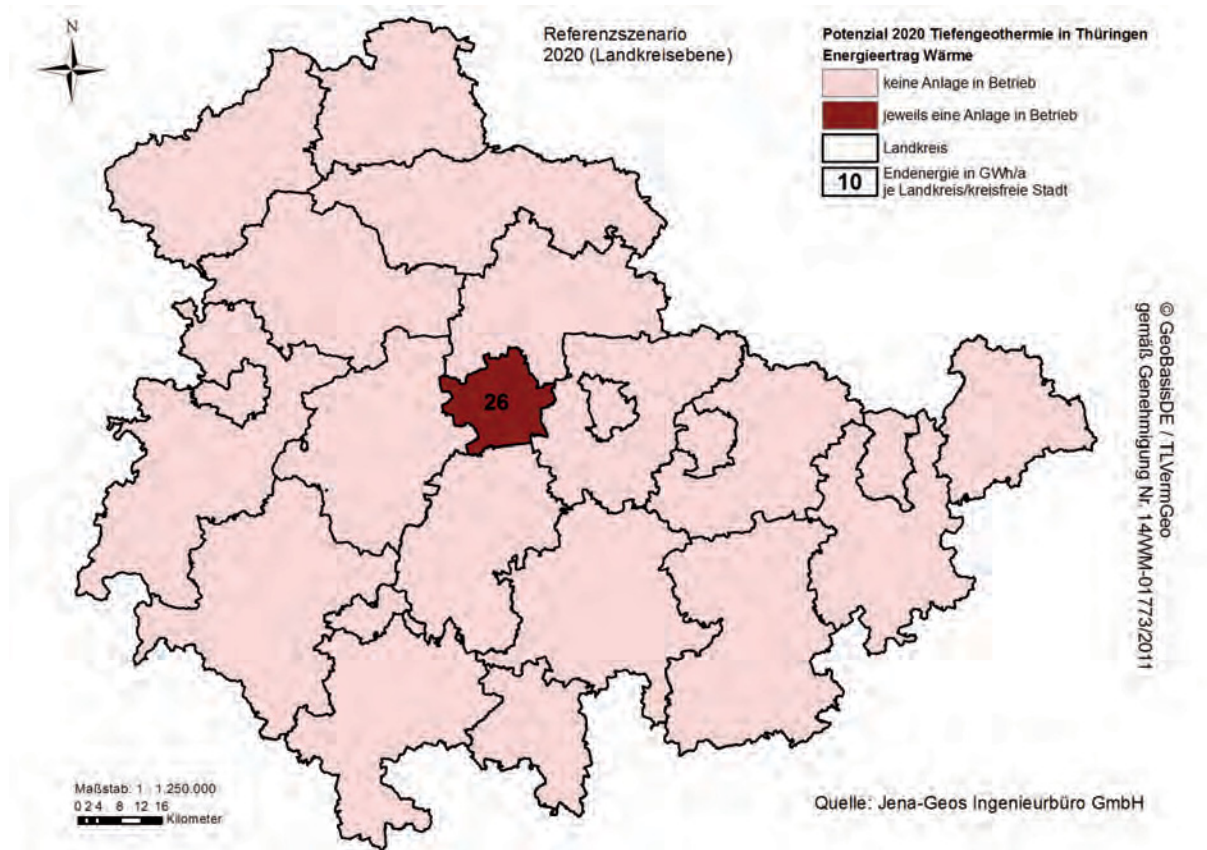




Karte 100 Aktueller Stand der Nutzung – Tiefengeothermie (thermisch) auf Landkreisebene

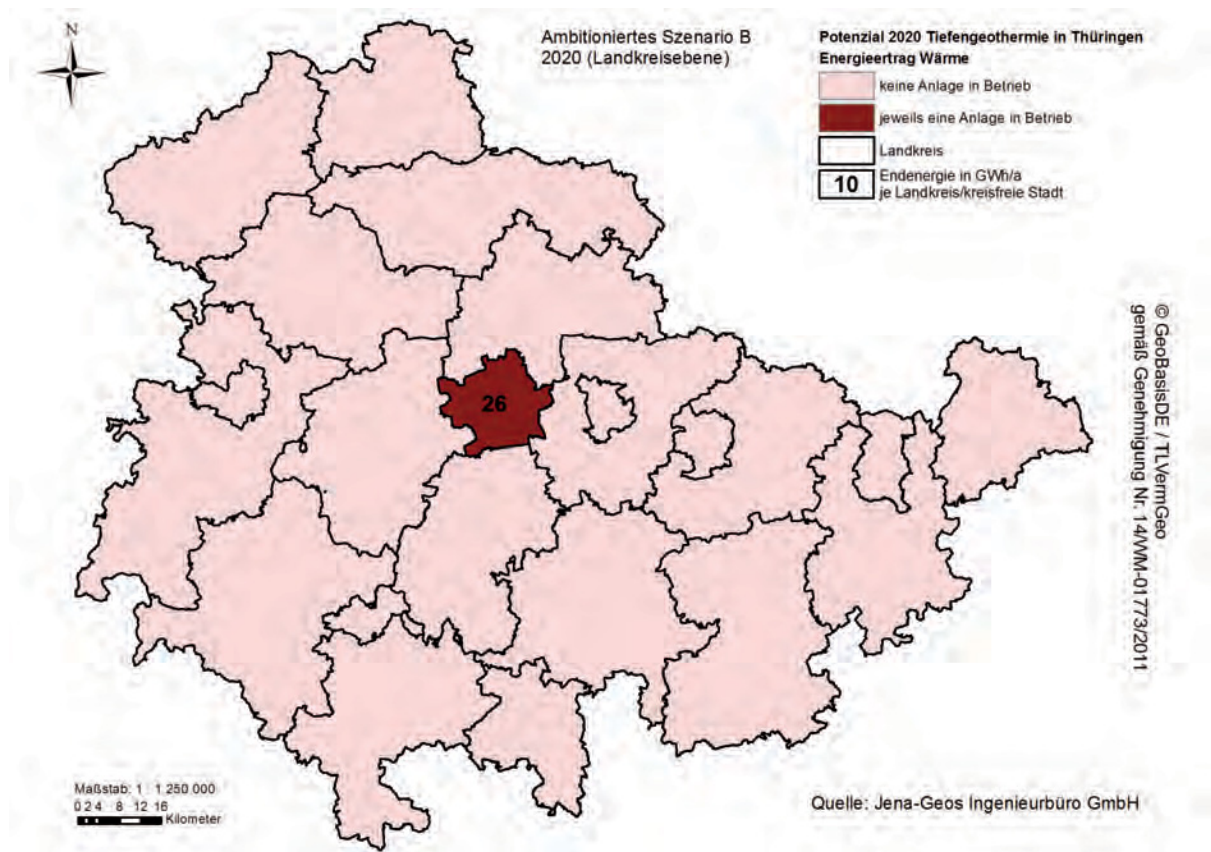


Karte 101 Potenziale der Tiefengeothermie (thermisch) im Referenzszenario auf Landkreisebene im Jahr 2020

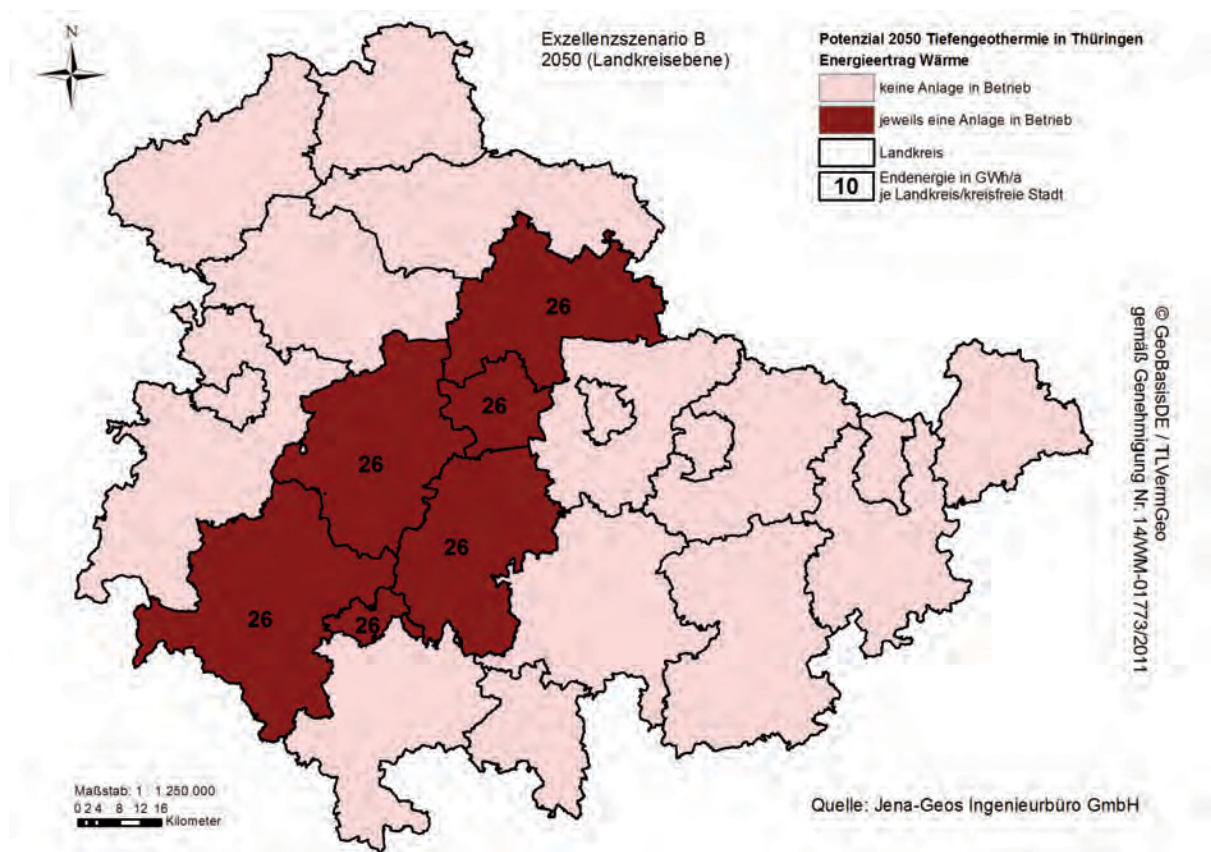




Karte 102 Potenziale der Tiefengeothermie (thermisch) im Ambitionierten Szenario B auf Landkreisebene (2020)

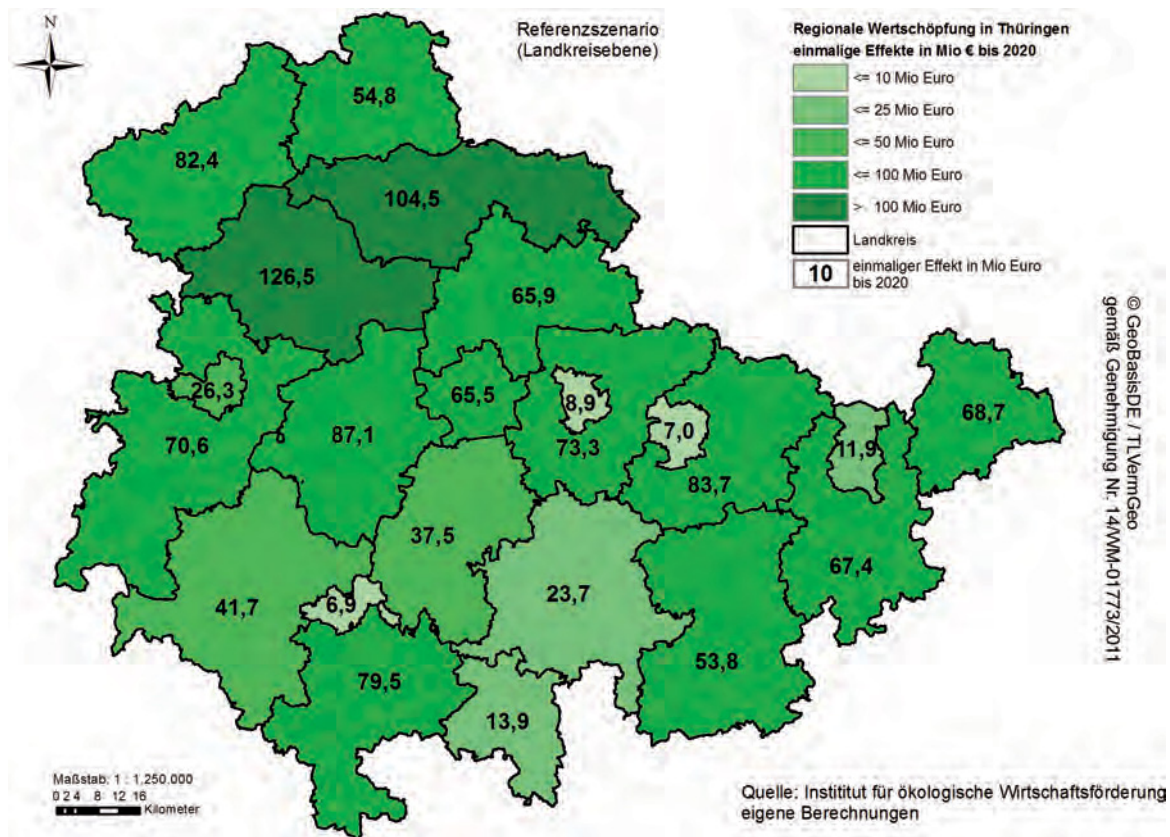


Karte 103 Potenziale der Tiefengeothermie (thermisch) im Exzellenzszenario B auf Landkreisebene im Jahr 2050

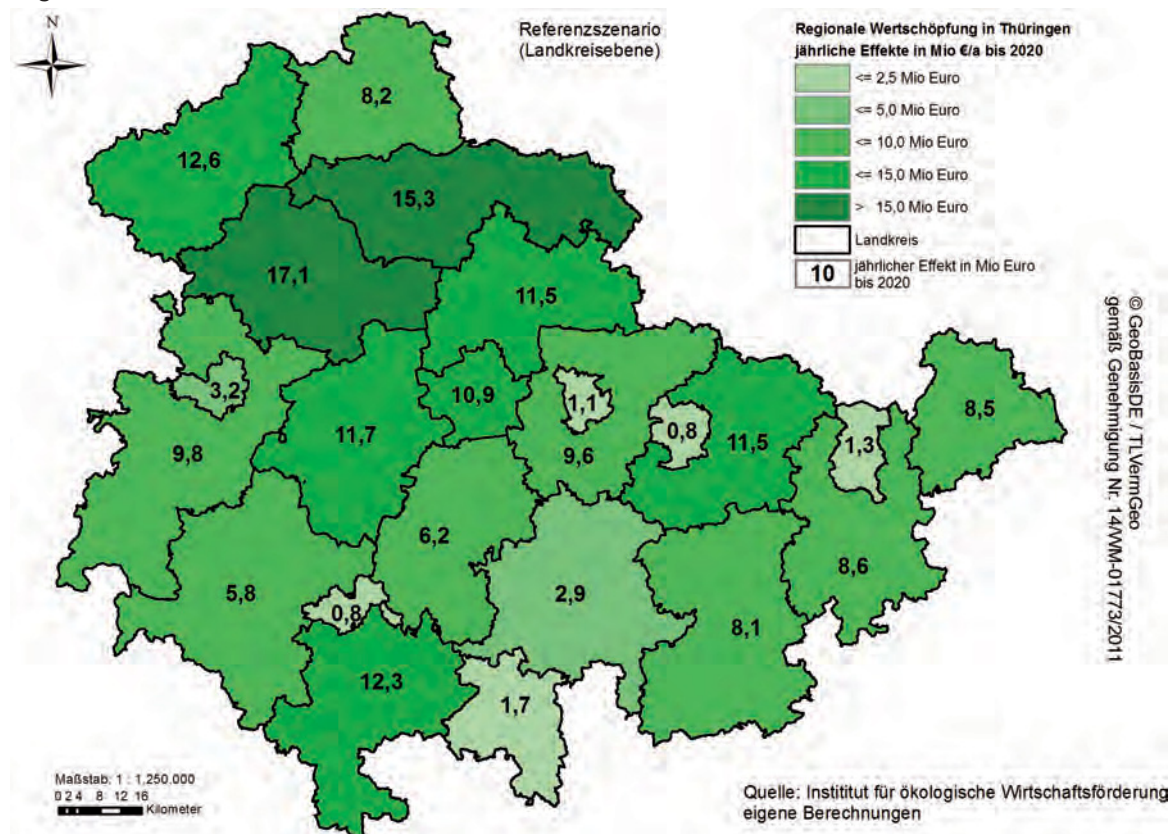




Karte 104 Darstellung der regionalökonomischen, einmaligen Effekte beim Ausbau der erneuerbaren Energien auf Landkreisebene bis zum Jahr 2020



Karte 105 Darstellung der regionalökonomischen, jährlichen Effekte beim Ausbau der erneuerbaren Energien auf Landkreisebene bis zum Jahr 2020



## Anhang A1

### Definitionen und Abgrenzungen der betrachteten Biomassefraktionen

- **Altholz:** Die genaue Definition der Hölzer, die unter dem Begriff Altholz zu verstehen sind, ist in der Altholzverordnung detailliert festgelegt.
- **Bioabfall:** Die Materialien, die unter dem Begriff Bioabfall zusammengefasst werden, sind in der Bioabfallverordnung definiert. Hauptsächlich wird der getrennt erfasste organische Anteil des Hausmülls und der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle darunter verstanden. Der im Restabfall verbleibende organische Anteil ist ausgeschlossen.
- **Biotreibstoffe:** Biotreibstoffe werden vorwiegend aus Pflanzen hergestellt. Raps- und Sonnenblumenöl eignen sich direkt oder zu Biodiesel umgeestert für die energetische Nutzung in Dieselmotoren. Gereinigte Pflanzenöle sind frei von Schwefel und biologisch vollständig abbaubar. Aus Mais und Zuckerrüben, also stärke- und zuckerhaltigen Pflanzen, lässt sich Ethanol gewinnen. Über die Vergasung kann aus trockener Biomasse der Treibstoff Methanol hergestellt werden. Alkoholkraftstoffe eignen sich für Benzinmotoren. Methanol kommt auch als Treibstoff für Brennstoffzellen in Frage. BTL (Biomass To Liquid) ist ein synthetischer Kraftstoff. Hier bietet sich die Möglichkeit, aus jeder Art von kohlenstoffhaltiger Biomasse ein Synthesegas zu erzeugen, das letztendlich zu flüssigem Treibstoff verarbeitet wird. Dabei wird der gesamte Kohlenstoffgehalt des Ausgangsmaterials genutzt. Das Syntheseverfahren erlaubt sowohl die Herstellung von Diesel- als auch Ottokraftstoff.
- **Dauergrünland:** Hierunter ist landwirtschaftliche Nutzfläche zu verstehen, die als Weide zum Viehauftrieb oder als Wiese zur Heu- und Silagegewinnung genutzt wird. Intensität und Art der Nutzung sind von den lokalen Gegebenheiten abhängig.
- **Energiepflanzen:** Unter diesem Begriff werden ein- oder mehrjährige Kulturen verstanden, die auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zur alleinigen energetischen Verwertung angebaut werden. Die so erzeugte Biomasse kann als Festbrennstoff, als flüssiger Energieträger oder auch als Co-Substrat zur Biogasgewinnung eingesetzt werden.
- **Grünabfall:** Darunter versteht man im Allgemeinen Baum-, Strauch- und Heckenschnitt, Gras- und Rasenschnitt sowie Laub und Ähnliches. Daraus definieren sich auch die Begriffe holziger und feuchter Grünabfall. Nicht zum Grünabfall zählen Wurzelstöcke, Erde, Äste und Baumstämme mit größerem Durchmesser sowie Küchenabfälle und sonstige organische Stoffe.
- **Gülle und Festmist:** Für die energetische Nutzung steht nicht das gesamte Aufkommen an Exkrementen aller Nutztierarten zur Verfügung. Bei Tieren, die in der Regel fast ganzjährig Weidegang erhalten, verbleiben die Exkremente in dieser Zeit auf der Weidefläche. Dies gilt insbesondere für Schafe und Pferde sowie Gänse und Enten. Für die Berechnung werden deshalb nur Exkremente von Hühnern, Schweinen und Rindern berücksichtigt.
- **Landschaftspflegeholz:** Hier werden die organischen Rückstände aus der Pflege von öffentlichen Grünflächen und der Landschaftspflege zusammengefasst. Die Ermittlung des dort anfallenden organischen Materials erfolgt über Flächengrößen bzw. Straßenlängen und das mittlere spezifische Biomasseaufkommen.
- **Sägewerksnebenprodukte:** Von der Einschnittmenge der Sägewerke fällt aus produktionstechnischen Gründen ein bestimmter Anteil als Schwarte, Spreißel, Hackschnitzel, Säge- und Hobelspäne sowie Abschnitte (Stückholz) als Nebenprodukte an.

- **Stroh:** Darunter versteht man die trockenen, ausgedroschenen Getreidehalme sowie Blätter von Hülsenfrüchten und Gespinstpflanzen, die nach einer Ernte übrig bleiben.
- **Ungenutzter Zuwachs:** Dieser Begriff umschreibt die Menge an Holz, die jährlich nachwächst und derzeit keiner Nutzung unterliegt. Der ungenutzte Zuwachs führt zu einer Erhöhung der im Wald befindlichen Holzvorratsmenge an Stammholz und Waldholz.
- **Waldholz:** Darunter wird das im Wald anfallende Holz verstanden, das sich aus Stammholz, Industrieholz und Schwachholz ergibt. Waldrestholz umfasst dabei die bei der Stammholzernte verbleibenden erntetechnisch bedingten Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle. Weiterhin beinhaltet es das nicht aufgearbeitete Kronenderbholz mit Rinde sowie das Reisholz mit Rinde. Auf das Schwachholz entfällt die Menge an Holz, die aus forstwirtschaftlichen Gründen eingeschlagen werden muss, aber gegenwärtig kaum stofflich genutzt wird.



## Anhang A2

### Aktueller und zukünftiger Energieverbrauch in Thüringen

In dieser Studie wurde der aktuelle und zukünftige Energieverbrauch in Thüringen ermittelt. Dabei wurden die drei, in Kapitel 4 vorgestellten Szenarien untersucht. Die Verbrauchsberechnungen reichen bis ins Jahr 2050 und wurden für alle vier Planungsregionen ermittelt. Es wurde in Wärme (Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme), Strom und Treibstoffe unterschieden.

Im Vergleich zum Referenzszenario nimmt im ambitionierten Szenario und im Exzellenzszenario der Energiebedarf deutlich ab, insbesondere im Sektor Arbeiten. Dies ist auf größere Anstrengungen im Effizienzbereich zurück zu führen. Aufgrund einer schnelleren Einführung der Elektromobilität und einer stärkeren Förderung des öffentlichen Verkehrs nimmt auch der Treibstoffbedarf deutlich ab.

Das ambitionierte Szenario unterscheidet sich vom Exzellenzszenario nur insoweit, als dass weniger dezentrale Wärme bereitgestellt und somit weniger Wärmepumpenstrom benötigt wird. Die Tabellen A2-1 bis A2-5 zeigen den absoluten Energiebedarf für alle Zeitschnitte, für alle Szenarien in den Planungsregionen und Thüringen insgesamt. Die Tabellen A2-6 bis A2-10 zeigen den pro Einwohner-Endenergiebedarf.

**Tab. A2-3: Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat Thüringen im ambitionierten Szenario B (mit Effizienzsteigerung).**

| Energiebedarf                      | Raumwärme | Warmwasser/<br>Prozesswärme | Strom  | Treibstoffe | Summe  |
|------------------------------------|-----------|-----------------------------|--------|-------------|--------|
| GWh <sub>End</sub> /a <sup>1</sup> |           |                             |        |             |        |
| <b>Mittelthüringen</b>             |           |                             |        |             |        |
| 2010                               | 4.133     | 3.614                       | 3.785  | 4.656       | 16.188 |
| 2020                               | 3.541     | 3.267                       | 3.080  | 4.148       | 14.036 |
| 2030                               | 2.912     | 2.970                       | 2.574  | 3.628       | 12.084 |
| 2040                               | 2.338     | 2.724                       | 2.290  | 3.110       | 10.462 |
| 2050                               | 2.021     | 2.575                       | 2.300  | 2.602       | 9.497  |
| <b>Nordthüringen</b>               |           |                             |        |             |        |
| 2010                               | 2.641     | 2.084                       | 2.218  | 2.645       | 9.588  |
| 2020                               | 2.124     | 1.847                       | 1.759  | 2.296       | 8.025  |
| 2030                               | 1.623     | 1.632                       | 1.412  | 1.764       | 6.432  |
| 2040                               | 1.199     | 1.447                       | 1.198  | 1.428       | 5.271  |
| 2050                               | 941       | 1.317                       | 1.156  | 1.010       | 4.424  |
| <b>Ostthüringen</b>                |           |                             |        |             |        |
| 2010                               | 4.419     | 4.101                       | 4.224  | 4.820       | 17.563 |
| 2020                               | 3.600     | 3.623                       | 3.303  | 4.185       | 14.711 |
| 2030                               | 2.793     | 3.206                       | 2.629  | 3.241       | 11.870 |
| 2040                               | 2.103     | 2.856                       | 2.235  | 2.522       | 9.716  |
| 2050                               | 1.680     | 2.625                       | 2.199  | 1.879       | 8.384  |
| <b>Südwestthüringen</b>            |           |                             |        |             |        |
| 2010                               | 3.390     | 2.792                       | 2.962  | 3.225       | 12.370 |
| 2020                               | 2.721     | 2.466                       | 2.337  | 2.779       | 10.304 |
| 2030                               | 2.072     | 2.173                       | 1.868  | 2.114       | 8.228  |
| 2040                               | 1.524     | 1.919                       | 1.580  | 1.690       | 6.713  |
| 2050                               | 1.184     | 1.742                       | 1.527  | 1.174       | 5.628  |
| <b>Thüringen</b>                   |           |                             |        |             |        |
| 2010                               | 14.583    | 12.591                      | 13.189 | 15.345      | 55.708 |
| 2020                               | 11.987    | 11.203                      | 10.480 | 13.004      | 46.674 |
| 2030                               | 9.401     | 9.982                       | 8.487  | 10.747      | 38.616 |
| 2040                               | 7.164     | 8.946                       | 7.307  | 8.615       | 32.032 |
| 2050                               | 5.826     | 8.260                       | 7.188  | 6.666       | 27.940 |

<sup>1</sup>Gigawattstunden Endenergie pro Jahr.

**Tab. A2-4: Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat Thüringen im Exzellenzszenario A (ohne Effizienzsteigerung).**

| Energiebedarf                      | Raumwärme | Warmwas-<br>ser/ Prozess-<br>wärme | Strom  | Treibstoffe | Summe  |
|------------------------------------|-----------|------------------------------------|--------|-------------|--------|
| GWh <sub>End</sub> /a <sup>1</sup> |           |                                    |        |             |        |
| <b>Mittelthüringen</b>             |           |                                    |        |             |        |
| 2010                               | 4.133     | 3.614                              | 3.785  | 4.656       | 16.188 |
| 2020                               | 3.727     | 3.673                              | 3.921  | 4.376       | 15.697 |
| 2030                               | 3.186     | 3.687                              | 4.011  | 4.061       | 14.944 |
| 2040                               | 2.622     | 3.658                              | 4.074  | 3.728       | 14.083 |
| 2050                               | 2.279     | 3.613                              | 4.139  | 3.382       | 13.413 |
| <b>Nordthüringen</b>               |           |                                    |        |             |        |
| 2010                               | 2.641     | 2.084                              | 2.218  | 2.645       | 9.588  |
| 2020                               | 2.231     | 2.074                              | 2.224  | 2.296       | 8.825  |
| 2030                               | 1.769     | 2.028                              | 2.193  | 1.974       | 7.964  |
| 2040                               | 1.336     | 1.952                              | 2.137  | 1.428       | 6.853  |
| 2050                               | 1.051     | 1.861                              | 2.069  | 1.313       | 6.295  |
| <b>Ostthüringen</b>                |           |                                    |        |             |        |
| 2010                               | 4.419     | 4.101                              | 4.224  | 4.820       | 17.563 |
| 2020                               | 3.764     | 4.088                              | 4.238  | 4.185       | 16.275 |
| 2030                               | 3.014     | 4.014                              | 4.189  | 3.628       | 14.845 |
| 2040                               | 2.311     | 3.886                              | 4.096  | 3.023       | 13.316 |
| 2050                               | 1.848     | 3.731                              | 3.982  | 2.443       | 12.004 |
| <b>Südwestthüringen</b>            |           |                                    |        |             |        |
| 2010                               | 3.390     | 2.792                              | 2.962  | 3.225       | 12.370 |
| 2020                               | 2.851     | 2.772                              | 2.962  | 2.779       | 11.364 |
| 2030                               | 2.245     | 2.704                              | 2.912  | 2.366       | 10.227 |
| 2040                               | 1.683     | 2.596                              | 2.828  | 1.690       | 8.797  |
| 2050                               | 1.310     | 2.468                              | 2.727  | 1.527       | 8.031  |
| <b>Thüringen</b>                   |           |                                    |        |             |        |
| 2010                               | 14.583    | 12.591                             | 13.189 | 15.345      | 55.708 |
| 2020                               | 12.573    | 12.607                             | 13.346 | 13.720      | 52.246 |
| 2030                               | 10.214    | 12.433                             | 13.309 | 12.028      | 47.984 |
| 2040                               | 7.953     | 12.091                             | 13.141 | 10.328      | 43.513 |
| 2050                               | 6.489     | 11.673                             | 12.924 | 8.666       | 39.752 |

<sup>1</sup>Gigawattstunden Endenergie pro Jahr.

**Tab. A2-5: Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat Thüringen im Exzellenzszenario B (mit Effizienzsteigerung).**

| Energiebedarf                      | Raumwärme | Warmwasser/ Prozesswärme | Strom  | Treibstoffe | Summe  |
|------------------------------------|-----------|--------------------------|--------|-------------|--------|
| GWh <sub>End</sub> /a <sup>1</sup> |           |                          |        |             |        |
| <b>Mittelthüringen</b>             |           |                          |        |             |        |
| 2010                               | 4.133     | 3.614                    | 3.785  | 4.656       | 16.188 |
| 2020                               | 3.541     | 3.267                    | 3.112  | 4.148       | 14.068 |
| 2030                               | 2.912     | 2.970                    | 2.637  | 3.628       | 12.147 |
| 2040                               | 2.338     | 2.724                    | 2.385  | 3.110       | 10.557 |
| 2050                               | 2.021     | 2.575                    | 2.426  | 2.602       | 9.624  |
| <b>Nordthüringen</b>               |           |                          |        |             |        |
| 2010                               | 2.641     | 2.084                    | 2.218  | 2.645       | 9.588  |
| 2020                               | 2.124     | 1.847                    | 1.777  | 2.296       | 8.043  |
| 2030                               | 1.623     | 1.632                    | 1.449  | 1.764       | 6.468  |
| 2040                               | 1.199     | 1.447                    | 1.252  | 1.428       | 5.326  |
| 2050                               | 941       | 1.317                    | 1.228  | 1.010       | 4.497  |
| <b>Ostthüringen</b>                |           |                          |        |             |        |
| 2010                               | 4.419     | 4.101                    | 4.224  | 4.820       | 17.563 |
| 2020                               | 3.600     | 3.623                    | 3.334  | 4.185       | 14.742 |
| 2030                               | 2.793     | 3.206                    | 2.691  | 3.241       | 11.931 |
| 2040                               | 2.103     | 2.856                    | 2.327  | 2.522       | 9.809  |
| 2050                               | 1.680     | 2.625                    | 2.323  | 1.879       | 8.508  |
| <b>Südwestthüringen</b>            |           |                          |        |             |        |
| 2010                               | 3.390     | 2.792                    | 2.962  | 3.225       | 12.370 |
| 2020                               | 2.721     | 2.466                    | 2.361  | 2.779       | 10.328 |
| 2030                               | 2.072     | 2.173                    | 1.916  | 2.114       | 8.276  |
| 2040                               | 1.524     | 1.919                    | 1.651  | 1.690       | 6.784  |
| 2050                               | 1.184     | 1.742                    | 1.623  | 1.174       | 5.723  |
| <b>Thüringen</b>                   |           |                          |        |             |        |
| 2010                               | 14.583    | 12.591                   | 13.189 | 15.345      | 55.708 |
| 2020                               | 11.987    | 11.203                   | 10.585 | 13.004      | 46.779 |
| 2030                               | 9.401     | 9.982                    | 8.697  | 10.747      | 38.826 |
| 2040                               | 7.164     | 8.946                    | 7.622  | 8.615       | 32.347 |
| 2050                               | 5.826     | 8.260                    | 7.608  | 6.666       | 28.360 |

<sup>1</sup>Gigawattstunden Endenergie pro Jahr.



**Tab. A2-6: Pro-Einwohner-Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat Thüringen im Referenzszenario.**

| Energiebedarf                         | Raumwärme | Warmwasser/ Prozesswärme | Strom | Treibstoffe | Summe  |
|---------------------------------------|-----------|--------------------------|-------|-------------|--------|
| kWh <sub>End</sub> /EW*a <sup>1</sup> |           |                          |       |             |        |
| <b>Mittelthüringen</b>                |           |                          |       |             |        |
| 2010                                  | 6.092     | 5.327                    | 5.579 | 6.863       | 23.860 |
| 2020                                  | 5.740     | 5.657                    | 5.960 | 6.740       | 24.097 |
| 2030                                  | 5.123     | 5.930                    | 6.287 | 6.530       | 23.870 |
| 2040                                  | 4.402     | 6.140                    | 6.585 | 6.258       | 23.385 |
| 2050                                  | 4.004     | 6.347                    | 6.918 | 5.942       | 23.212 |
| <b>Nordthüringen</b>                  |           |                          |       |             |        |
| 2010                                  | 6.853     | 5.409                    | 5.755 | 6.863       | 24.880 |
| 2020                                  | 6.491     | 6.034                    | 6.394 | 6.680       | 25.599 |
| 2030                                  | 5.850     | 6.708                    | 7.081 | 6.530       | 26.169 |
| 2040                                  | 5.103     | 7.454                    | 7.865 | 5.454       | 25.877 |
| 2050                                  | 4.756     | 8.421                    | 8.894 | 5.942       | 28.014 |
| <b>Ostthüringen</b>                   |           |                          |       |             |        |
| 2010                                  | 6.291     | 5.838                    | 6.014 | 6.863       | 25.005 |
| 2020                                  | 6.007     | 6.524                    | 6.687 | 6.680       | 25.898 |
| 2030                                  | 5.426     | 7.225                    | 7.370 | 6.530       | 26.551 |
| 2040                                  | 4.784     | 8.043                    | 8.186 | 6.258       | 27.272 |
| 2050                                  | 4.495     | 9.074                    | 9.225 | 5.942       | 28.736 |
| <b>Südwestthüringen</b>               |           |                          |       |             |        |
| 2010                                  | 7.215     | 5.943                    | 6.304 | 6.863       | 26.324 |
| 2020                                  | 6.852     | 6.663                    | 7.011 | 6.680       | 27.206 |
| 2030                                  | 6.197     | 7.464                    | 7.789 | 6.530       | 27.980 |
| 2040                                  | 5.434     | 8.378                    | 8.695 | 5.454       | 27.960 |
| 2050                                  | 5.101     | 9.605                    | 9.917 | 5.942       | 30.565 |
| <b>Thüringen</b>                      |           |                          |       |             |        |
| 2010                                  | 6.522     | 5.631                    | 5.898 | 6.863       | 24.913 |
| 2020                                  | 6.176     | 6.193                    | 6.472 | 6.740       | 25.581 |
| 2030                                  | 5.545     | 6.750                    | 7.040 | 6.530       | 25.864 |
| 2040                                  | 4.819     | 7.326                    | 7.653 | 6.258       | 26.055 |
| 2050                                  | 4.450     | 8.004                    | 8.396 | 5.942       | 26.793 |

<sup>1</sup>Kilowattstunden Endenergie pro Einwohner und Jahr.

**Tab. A2-7: Pro-Einwohner-Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat Thüringen im ambitionierten Szenario A (ohne Effizienzsteigerung).**

| Energiebedarf                         | Raumwärme | Warmwasser/ Prozesswärme | Strom  | Treibstoffe | Summe  |
|---------------------------------------|-----------|--------------------------|--------|-------------|--------|
| kWh <sub>End</sub> /EW*a <sup>1</sup> |           |                          |        |             |        |
| <b>Mittelthüringen</b>                |           |                          |        |             |        |
| 2010                                  | 6.092     | 5.327                    | 5.579  | 6.863       | 23.860 |
| 2020                                  | 5.740     | 5.657                    | 5.989  | 6.740       | 24.127 |
| 2030                                  | 5.123     | 5.930                    | 6.348  | 6.530       | 23.931 |
| 2040                                  | 4.402     | 6.140                    | 6.679  | 6.258       | 23.479 |
| 2050                                  | 4.004     | 6.347                    | 7.048  | 5.942       | 23.342 |
| <b>Nordthüringen</b>                  |           |                          |        |             |        |
| 2010                                  | 6.853     | 5.409                    | 5.755  | 6.863       | 24.880 |
| 2020                                  | 6.491     | 6.034                    | 6.418  | 6.680       | 25.623 |
| 2030                                  | 5.850     | 6.708                    | 7.133  | 6.530       | 26.221 |
| 2040                                  | 5.103     | 7.454                    | 7.954  | 5.454       | 25.965 |
| 2050                                  | 4.756     | 8.421                    | 9.033  | 5.942       | 28.153 |
| <b>Ostthüringen</b>                   |           |                          |        |             |        |
| 2010                                  | 6.291     | 5.838                    | 6.014  | 6.863       | 25.005 |
| 2020                                  | 6.007     | 6.524                    | 6.715  | 6.680       | 25.926 |
| 2030                                  | 5.426     | 7.225                    | 7.429  | 6.530       | 26.611 |
| 2040                                  | 4.784     | 8.043                    | 8.287  | 6.258       | 27.373 |
| 2050                                  | 4.495     | 9.074                    | 9.383  | 5.942       | 28.894 |
| <b>Südwestthüringen</b>               |           |                          |        |             |        |
| 2010                                  | 7.215     | 5.943                    | 6.304  | 6.863       | 26.324 |
| 2020                                  | 6.852     | 6.663                    | 7.062  | 6.680       | 27.257 |
| 2030                                  | 6.197     | 7.464                    | 7.905  | 6.530       | 28.096 |
| 2040                                  | 5.434     | 8.378                    | 8.897  | 5.454       | 28.163 |
| 2050                                  | 5.101     | 9.605                    | 10.242 | 5.942       | 30.890 |
| <b>Thüringen</b>                      |           |                          |        |             |        |
| 2010                                  | 6.522     | 5.631                    | 5.898  | 6.863       | 24.913 |
| 2020                                  | 6.176     | 6.193                    | 6.505  | 6.740       | 25.615 |
| 2030                                  | 5.545     | 6.750                    | 7.111  | 6.530       | 25.936 |
| 2040                                  | 4.819     | 7.326                    | 7.771  | 6.258       | 26.173 |
| 2050                                  | 4.450     | 8.004                    | 8.574  | 5.942       | 26.971 |

<sup>1</sup>Kilowattstunden Endenergie pro Einwohner und Jahr.

**Tab. A2-8: Pro-Einwohner-Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat Thüringen im ambitionierten Szenario B (mit Effizienzsteigerung).**

| Energiebedarf                         | Raumwärme | Warmwasser/ Prozesswärme | Strom | Treibstoffe | Summe  |
|---------------------------------------|-----------|--------------------------|-------|-------------|--------|
| kWh <sub>End</sub> /EW*a <sup>1</sup> |           |                          |       |             |        |
| <b>Mittelthüringen</b>                |           |                          |       |             |        |
| 2010                                  | 6.092     | 5.327                    | 5.579 | 6.863       | 23.860 |
| 2020                                  | 5.454     | 5.031                    | 4.744 | 6.388       | 21.617 |
| 2030                                  | 4.683     | 4.776                    | 4.140 | 5.834       | 19.433 |
| 2040                                  | 3.925     | 4.572                    | 3.844 | 5.220       | 17.561 |
| 2050                                  | 3.550     | 4.523                    | 4.040 | 4.571       | 16.685 |
| <b>Nordthüringen</b>                  |           |                          |       |             |        |
| 2010                                  | 6.853     | 5.409                    | 5.755 | 6.864       | 24.881 |
| 2020                                  | 6.178     | 5.372                    | 5.116 | 6.680       | 23.347 |
| 2030                                  | 5.368     | 5.399                    | 4.671 | 5.834       | 21.273 |
| 2040                                  | 4.580     | 5.525                    | 4.574 | 5.454       | 20.133 |
| 2050                                  | 4.258     | 5.959                    | 5.230 | 4.569       | 20.016 |
| <b>Ostthüringen</b>                   |           |                          |       |             |        |
| 2010                                  | 6.291     | 5.838                    | 6.014 | 6.862       | 25.005 |
| 2020                                  | 5.746     | 5.783                    | 5.271 | 6.680       | 23.480 |
| 2030                                  | 5.028     | 5.772                    | 4.733 | 5.834       | 21.367 |
| 2040                                  | 4.354     | 5.913                    | 4.626 | 5.221       | 20.113 |
| 2050                                  | 4.086     | 6.385                    | 5.349 | 4.570       | 20.390 |
| <b>Südwestthüringen</b>               |           |                          |       |             |        |
| 2010                                  | 7.215     | 5.943                    | 6.304 | 6.863       | 26.325 |
| 2020                                  | 6.541     | 5.928                    | 5.618 | 6.680       | 24.767 |
| 2030                                  | 5.720     | 5.998                    | 5.157 | 5.835       | 22.709 |
| 2040                                  | 4.918     | 6.195                    | 5.100 | 5.455       | 21.668 |
| 2050                                  | 4.610     | 6.782                    | 5.945 | 4.570       | 21.907 |
| <b>Thüringen</b>                      |           |                          |       |             |        |
| 2010                                  | 6.522     | 5.631                    | 5.898 | 6.862       | 24.913 |
| 2020                                  | 5.889     | 5.503                    | 5.148 | 6.388       | 22.929 |
| 2030                                  | 5.104     | 5.419                    | 4.607 | 5.834       | 20.964 |
| 2040                                  | 4.341     | 5.420                    | 4.427 | 5.220       | 19.408 |
| 2050                                  | 3.995     | 5.664                    | 4.929 | 4.571       | 19.159 |

<sup>1</sup>Kilowattstunden Endenergie pro Einwohner und Jahr.

**Tab. A2-9: Pro-Einwohner-Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat Thüringen im Exzellenzscenario A (ohne Effizienzsteigerung).**

| Energiebedarf                         | Raumwärme | Warmwasser/ Prozesswärme | Strom  | Treibstoffe | Summe  |
|---------------------------------------|-----------|--------------------------|--------|-------------|--------|
| kWh <sub>End</sub> /EW*a <sup>1</sup> |           |                          |        |             |        |
| <b>Mittelthüringen</b>                |           |                          |        |             |        |
| 2010                                  | 6.092     | 5.327                    | 5.579  | 6.863       | 23.860 |
| 2020                                  | 5.740     | 5.657                    | 6.038  | 6.740       | 24.176 |
| 2030                                  | 5.123     | 5.930                    | 6.450  | 6.530       | 24.033 |
| 2040                                  | 4.402     | 6.140                    | 6.839  | 6.258       | 23.638 |
| 2050                                  | 4.004     | 6.347                    | 7.271  | 5.942       | 23.565 |
| <b>Nordthüringen</b>                  |           |                          |        |             |        |
| 2010                                  | 6.853     | 5.409                    | 5.755  | 6.863       | 24.880 |
| 2020                                  | 6.491     | 6.034                    | 6.470  | 6.680       | 25.676 |
| 2030                                  | 5.850     | 6.708                    | 7.253  | 6.530       | 26.341 |
| 2040                                  | 5.103     | 7.454                    | 8.162  | 5.454       | 26.173 |
| 2050                                  | 4.756     | 8.421                    | 9.361  | 5.942       | 28.481 |
| <b>Ostthüringen</b>                   |           |                          |        |             |        |
| 2010                                  | 6.291     | 5.838                    | 6.014  | 6.863       | 25.005 |
| 2020                                  | 6.007     | 6.524                    | 6.764  | 6.680       | 25.975 |
| 2030                                  | 5.426     | 7.225                    | 7.541  | 6.530       | 26.722 |
| 2040                                  | 4.784     | 8.043                    | 8.480  | 6.258       | 27.566 |
| 2050                                  | 4.495     | 9.074                    | 9.684  | 5.942       | 29.196 |
| <b>Südwestthüringen</b>               |           |                          |        |             |        |
| 2010                                  | 7.215     | 5.943                    | 6.304  | 6.863       | 26.324 |
| 2020                                  | 6.852     | 6.663                    | 7.119  | 6.680       | 27.315 |
| 2030                                  | 6.197     | 7.464                    | 8.037  | 6.530       | 28.227 |
| 2040                                  | 5.434     | 8.378                    | 9.128  | 5.454       | 28.394 |
| 2050                                  | 5.101     | 9.605                    | 10.613 | 5.942       | 31.261 |
| <b>Thüringen</b>                      |           |                          |        |             |        |
| 2010                                  | 6.522     | 5.631                    | 5.898  | 6.863       | 24.913 |
| 2020                                  | 6.176     | 6.193                    | 6.556  | 6.740       | 25.666 |
| 2030                                  | 5.545     | 6.750                    | 7.225  | 6.530       | 26.050 |
| 2040                                  | 4.819     | 7.326                    | 7.962  | 6.258       | 26.364 |
| 2050                                  | 4.450     | 8.004                    | 8.862  | 5.942       | 27.259 |

<sup>1</sup>Kilowattstunden Endenergie pro Einwohner und Jahr.



**Tab. A2-10: Pro-Einwohner-Energiebedarfsprognose (Endenergie) für die Planungsregionen und den Freistaat Thüringen im Exzellenzscenario B (mit Effizienzsteigerung).**

| Energiebedarf                         | Raumwärme | Warmwasser/ Prozesswärme | Strom | Treibstoffe | Summe  |
|---------------------------------------|-----------|--------------------------|-------|-------------|--------|
| kWh <sub>End</sub> /EW*a <sup>1</sup> |           |                          |       |             |        |
| <b>Mittelthüringen</b>                |           |                          |       |             |        |
| 2010                                  | 6.092     | 5.327                    | 5.579 | 6.863       | 23.860 |
| 2020                                  | 5.454     | 5.031                    | 4.792 | 6.388       | 21.666 |
| 2030                                  | 4.683     | 4.776                    | 4.241 | 5.834       | 19.535 |
| 2040                                  | 3.925     | 4.572                    | 4.004 | 5.220       | 17.721 |
| 2050                                  | 3.550     | 4.523                    | 4.263 | 4.571       | 16.907 |
| <b>Nordthüringen</b>                  |           |                          |       |             |        |
| 2010                                  | 6.853     | 5.409                    | 5.755 | 6.864       | 24.881 |
| 2020                                  | 6.178     | 5.372                    | 5.169 | 6.680       | 23.399 |
| 2030                                  | 5.368     | 5.399                    | 4.791 | 5.834       | 21.393 |
| 2040                                  | 4.580     | 5.525                    | 4.782 | 5.454       | 20.340 |
| 2050                                  | 4.258     | 5.959                    | 5.558 | 4.569       | 20.344 |
| <b>Ostthüringen</b>                   |           |                          |       |             |        |
| 2010                                  | 6.291     | 5.838                    | 6.014 | 6.862       | 25.005 |
| 2020                                  | 5.746     | 5.783                    | 5.321 | 6.680       | 23.530 |
| 2030                                  | 5.028     | 5.772                    | 4.844 | 5.834       | 21.478 |
| 2040                                  | 4.354     | 5.913                    | 4.818 | 5.221       | 20.306 |
| 2050                                  | 4.086     | 6.385                    | 5.650 | 4.570       | 20.691 |
| <b>Südwestthüringen</b>               |           |                          |       |             |        |
| 2010                                  | 7.215     | 5.943                    | 6.304 | 6.863       | 26.325 |
| 2020                                  | 6.541     | 5.928                    | 5.675 | 6.680       | 24.824 |
| 2030                                  | 5.720     | 5.998                    | 5.288 | 5.835       | 22.840 |
| 2040                                  | 4.918     | 6.195                    | 5.330 | 5.455       | 21.898 |
| 2050                                  | 4.610     | 6.782                    | 6.315 | 4.570       | 22.278 |
| <b>Thüringen</b>                      |           |                          |       |             |        |
| 2010                                  | 6.522     | 5.631                    | 5.898 | 6.862       | 24.913 |
| 2020                                  | 5.889     | 5.503                    | 5.200 | 6.388       | 22.980 |
| 2030                                  | 5.104     | 5.419                    | 4.721 | 5.834       | 21.078 |
| 2040                                  | 4.341     | 5.420                    | 4.618 | 5.220       | 19.599 |
| 2050                                  | 3.995     | 5.664                    | 5.217 | 4.571       | 19.447 |

<sup>1</sup>Kilowattstunden Endenergie pro Einwohner und Jahr.



## Anhang A3

### Darstellung der ermittelten erneuerbaren Energiepotenziale aller Szenarien

In den Tabellen A3-1 bis A3-6 sind der jährliche Endenergieertrag aller Planungsregionen und des Freistaates Thüringen nach erneuerbarer Energieerzeugungsoption bis zum Prognosehorizont aufgelistet. Dabei wurde unterschieden in Referenzszenario, ambitioniertes Szenario und Exzellenzszenario. Die Tabellen A3-7 bis A3-12 zeigen die regenerative Energieerzeugung pro Einwohner. Die Tabellen A3-13 und A3-14 zeigen die absolute und Pro-Einwohner-Produktion von Biotreibstoffen für alle Szenarien.

Die Abbildungen A3-1 bis A3-6 stellen die erneuerbaren Energiepotenziale zur Wärme- und Strombereitstellung auf Regionsebene für alle Zeitschnitte in den verschiedenen Szenarien dar.

### Solarenergie

#### Photovoltaik

Die Entwicklung der photovoltaisch erzeugten Energie ist, durch die zugrunde gelegten Rahmenbedingungen der einzelnen Szenarien, im Referenzszenario (Abb. A3-4) am geringsten.

Die exakten Zahlen zu allen Szenarien sind den Tabellen A3-4 bis A3-6 zu entnehmen.

#### Solarthermie

In allen Szenarien und Planungsregionen nimmt das Potenzial pro Zeitschnitt etwa linear zu. Analog zum Potenzial photovoltaischer Stromerzeugung sind die Potenziale aller Szenarien in Mittel- und Ostthüringen aufgrund der hohen Bebauungsdichte und der daraus resultierenden größeren, verfügbaren Dachfläche am größten.

Im Referenzszenario (Abb. A3-1) wird in Anlehnung an die Leitstudie (BMU 2009) eine Einführungsrate unabhängig vom Wärmebedarf und den zur Verfügung stehenden Flächen zugrunde gelegt. Beschränkend wirkt im ambitionierten Szenario A/B (Abb. A3-2) eine Begrenzung der Potenziale auf 50%, welche im Exzellenzszenario A/B (Abb. A3-3) auf 90% erhöht wird. Infolgedessen nimmt das Potenzial der solarthermischen Wärmeerzeugung aller Regionen vom ambitionierten zum Exzellenzszenario zu.

Die exakten Zahlen zu allen Szenarien sind den Tabellen A3-4 bis A3-6 zu entnehmen.

### Windkraft

Durch die Verwendung von Flächenprojektionen in größeren Maßstäben (1:100.000 und größer) besteht eine gewisse Ungenauigkeit in der Standortanalyse der Windenergieanlagen. Das heißt, dass Windenergieanlagen durchaus zu einem bestehenden Vorranggebiet gehören können, die koordinatenscharfe Auswertung jedoch ergab, dass diese Anlagen nicht unmittelbar auf der Vorrangfläche stehen. In diesen Fällen wird angenommen, dass diese Anlagen außerhalb von Vorranggebieten stehen und somit in Zusatzflächen gebündelt werden sollten. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass bis zum Jahr 2020 die Windkraftanlagen mit Baujahr 2005 und älter erneuert (repowert) werden. Die jüngeren Anlagen werden ab 2020 ebenfalls durch 3-MW-Anlagen ersetzt. Es wird davon ausgegangen, dass die Schaffung dieser Zusatzflächen in den gleichen Landkreisen erfolgt, in denen derzeit die Windkraftanlagen außerhalb der ausgewiesenen Vorrangflächen stehen.

Die exakten Zahlen zu den Windpotenzialen sind den Tabellen A3-4 bis A3-6 zu entnehmen.

### ***Wasserkraft***

Die Steigerung der Erträge aus Wasserkraft wird für alle Szenarien gleich angenommen. Die Umsetzung der Potenziale erfolgt linear über alle Zeitschnitte gleichmäßig.

Die exakten Zahlen zu allen Szenarien sind den Tabellen A3-4 bis A3-6 zu entnehmen.

### ***Umgebungswärme***

Die exakten Zahlen zu allen Szenarien sind den Tabellen A3-4 bis A3-6 zu entnehmen.

### ***Abwasserwärme***

Die Potenziale der Abwasserwärmenutzung werden im Referenzszenario (Abb. A3-1) nicht in Betracht gezogen.

Die exakten Zahlen aller Szenarien sind den Tabellen A3-4 bis A3-6 zu entnehmen.

### ***Tiefengeothermie***

Die exakten Zahlen aller Szenarien sind den Tabellen A3-1 bis A3-6 zu entnehmen.



**Tab. A3-1: Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) für die Planungsregionen und Thüringen im Referenzszenario.**

| Regenerativer<br>Wärmeertrag       | Sonne<br>(Kollektoren) | Erd-<br>wärme<br>(Sonden) | Abwasser-<br>wärme | Bio-<br>masse | Tiefen-<br>geo-<br>thermie | MVA /<br>Deponie-<br>gas | Summe |
|------------------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------|---------------|----------------------------|--------------------------|-------|
| GWh <sub>End</sub> /a <sup>1</sup> |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| <b>Mittelthüringen</b>             |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| 2010                               | 21                     | 18                        | 0                  | 1.030         | 0                          | 139                      | 1.208 |
| 2020                               | 68                     | 84                        | 0                  | 1.125         | 26                         | 145                      | 1.448 |
| 2030                               | 128                    | 154                       | 0                  | 1.220         | 26                         | 140                      | 1.669 |
| 2040                               | 182                    | 225                       | 0                  | 1.316         | 26                         | 133                      | 1.882 |
| 2050                               | 211                    | 295                       | 0                  | 1.411         | 26                         | 128                      | 2.070 |
| <b>Nordthüringen</b>               |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| 2010                               | 17                     | 12                        | 0                  | 936           | 0                          | 4                        | 969   |
| 2020                               | 55                     | 56                        | 0                  | 1.037         | 0                          | 16                       | 1.164 |
| 2030                               | 104                    | 102                       | 0                  | 1.139         | 0                          | 32                       | 1.377 |
| 2040                               | 148                    | 148                       | 0                  | 1.240         | 0                          | 48                       | 1.584 |
| 2050                               | 171                    | 195                       | 0                  | 1.342         | 0                          | 64                       | 1.771 |
| <b>Ostthüringen</b>                |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| 2010                               | 35                     | 20                        | 0                  | 2.988         | 0                          | 150                      | 3.193 |
| 2020                               | 113                    | 90                        | 0                  | 2.622         | 0                          | 135                      | 2.961 |
| 2030                               | 214                    | 165                       | 0                  | 2.256         | 0                          | 126                      | 2.761 |
| 2040                               | 304                    | 240                       | 0                  | 1.889         | 0                          | 117                      | 2.551 |
| 2050                               | 351                    | 316                       | 0                  | 1.523         | 0                          | 108                      | 2.298 |
| <b>Südwestthüringen</b>            |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| 2010                               | 27                     | 8                         | 0                  | 949           | 0                          | 291                      | 1.275 |
| 2020                               | 87                     | 36                        | 0                  | 944           | 0                          | 237                      | 1.304 |
| 2030                               | 165                    | 65                        | 0                  | 938           | 0                          | 185                      | 1.354 |
| 2040                               | 234                    | 95                        | 0                  | 933           | 0                          | 134                      | 1.396 |
| 2050                               | 271                    | 124                       | 0                  | 928           | 0                          | 82                       | 1.405 |
| <b>Thüringen</b>                   |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| 2010                               | 100                    | 58                        | 0                  | 5.903         | 0                          | 584                      | 6.645 |
| 2020                               | 324                    | 266                       | 0                  | 5.728         | 26                         | 533                      | 6.877 |
| 2030                               | 611                    | 487                       | 0                  | 5.553         | 26                         | 483                      | 7.161 |
| 2040                               | 868                    | 708                       | 0                  | 5.379         | 26                         | 432                      | 7.413 |
| 2050                               | 1004                   | 929                       | 0                  | 5.204         | 26                         | 382                      | 7.545 |

<sup>1</sup>Gigawattstunden Endenergie pro Jahr.

**Tab. A3-2: Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) für die Planungsregionen und Thüringen im ambitionierten Szenario A/B.**

| Regenerativer<br>Wärmeertrag       | Sonne<br>(Kollektoren) | Erd-<br>wärme<br>(Sonden) | Abwasser-<br>wärme | Bio-<br>masse | Tiefen-<br>geo-<br>thermie | MVA /<br>Deponie-<br>gas | Summe |
|------------------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------|---------------|----------------------------|--------------------------|-------|
| GWh <sub>End</sub> /a <sup>1</sup> |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| <b>Mittelthüringen</b>             |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| 2010                               | 21                     | 18                        | 0                  | 1.030         | 0                          | 139                      | 1.208 |
| 2020                               | 59                     | 139                       | 14                 | 1.169         | 26                         | 145                      | 1.551 |
| 2030                               | 98                     | 259                       | 28                 | 1.308         | 26                         | 140                      | 1.858 |
| 2040                               | 136                    | 379                       | 42                 | 1.447         | 51                         | 133                      | 2.188 |
| 2050                               | 174                    | 499                       | 56                 | 1.587         | 77                         | 128                      | 2.520 |
| <b>Nordthüringen</b>               |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| 2010                               | 17                     | 12                        | 0                  | 936           | 0                          | 4                        | 969   |
| 2020                               | 32                     | 79                        | 5                  | 1.083         | 0                          | 16                       | 1.215 |
| 2030                               | 47                     | 146                       | 11                 | 1.230         | 0                          | 32                       | 1.466 |
| 2040                               | 62                     | 213                       | 16                 | 1.377         | 0                          | 48                       | 1.716 |
| 2050                               | 77                     | 281                       | 21                 | 1.523         | 0                          | 64                       | 1.966 |
| <b>Ostthüringen</b>                |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| 2010                               | 35                     | 20                        | 0                  | 2.988         | 0                          | 150                      | 3.193 |
| 2020                               | 61                     | 142                       | 8                  | 2.664         | 0                          | 135                      | 3.010 |
| 2030                               | 87                     | 265                       | 16                 | 2.340         | 0                          | 126                      | 2.833 |
| 2040                               | 112                    | 388                       | 24                 | 2.015         | 0                          | 117                      | 2.657 |
| 2050                               | 138                    | 510                       | 32                 | 1.691         | 0                          | 108                      | 2.480 |
| <b>Südwestthüringen</b>            |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| 2010                               | 27                     | 8                         | 0                  | 949           | 0                          | 291                      | 1.275 |
| 2020                               | 46                     | 104                       | 6                  | 970           | 0                          | 237                      | 1.363 |
| 2030                               | 65                     | 201                       | 11                 | 991           | 26                         | 185                      | 1.479 |
| 2040                               | 83                     | 298                       | 17                 | 1.012         | 26                         | 134                      | 1.569 |
| 2050                               | 102                    | 394                       | 23                 | 1.032         | 51                         | 82                       | 1.685 |
| <b>Thüringen</b>                   |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| 2010                               | 100                    | 58                        | 0                  | 5.903         | 0                          | 584                      | 6.645 |
| 2020                               | 200                    | 470                       | 33                 | 5.885         | 26                         | 533                      | 7.147 |
| 2030                               | 299                    | 883                       | 65                 | 5.868         | 51                         | 483                      | 7.650 |
| 2040                               | 399                    | 1.295                     | 98                 | 5.851         | 77                         | 432                      | 8.152 |
| 2050                               | 499                    | 1.708                     | 130                | 5.834         | 128                        | 382                      | 8.681 |

<sup>1</sup>Gigawattstunden Endenergie pro Jahr.

**Tab. A3-3: Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) für die Planungsregionen und Thüringen im Exzellenzscenario A/B.**

| Regenerativer<br>Wärmeertrag       | Sonne<br>(Kollektoren) | Erd-<br>wärme<br>(Sonden) | Abwasser-<br>wärme | Bio-<br>masse | Tiefen-<br>geo-<br>thermie | MVA /<br>Deponie-<br>gas | Summe  |
|------------------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------|---------------|----------------------------|--------------------------|--------|
| GWh <sub>End</sub> /a <sup>1</sup> |                        |                           |                    |               |                            |                          |        |
| <b>Mittelthüringen</b>             |                        |                           |                    |               |                            |                          |        |
| 2010                               | 21                     | 18                        | 0                  | 1.030         | 0                          | 139                      | 1.208  |
| 2020                               | 94                     | 238                       | 25                 | 1.220         | 26                         | 145                      | 1.748  |
| 2030                               | 167                    | 458                       | 50                 | 1.411         | 51                         | 140                      | 2.277  |
| 2040                               | 240                    | 678                       | 75                 | 1.601         | 77                         | 133                      | 2.805  |
| 2050                               | 313                    | 898                       | 100                | 1.792         | 103                        | 128                      | 3.334  |
| <b>Nordthüringen</b>               |                        |                           |                    |               |                            |                          |        |
| 2010                               | 17                     | 12                        | 0                  | 936           | 0                          | 4                        | 969    |
| 2020                               | 47                     | 135                       | 10                 | 1.140         | 0                          | 16                       | 1.348  |
| 2030                               | 78                     | 259                       | 19                 | 1.344         | 0                          | 32                       | 1.731  |
| 2040                               | 108                    | 382                       | 29                 | 1.548         | 0                          | 48                       | 2.114  |
| 2050                               | 138                    | 505                       | 38                 | 1.752         | 0                          | 64                       | 2.497  |
| <b>Ostthüringen</b>                |                        |                           |                    |               |                            |                          |        |
| 2010                               | 35                     | 20                        | 0                  | 2.988         | 0                          | 150                      | 3.193  |
| 2020                               | 88                     | 244                       | 14                 | 2.716         | 0                          | 135                      | 3.199  |
| 2030                               | 142                    | 469                       | 29                 | 2.444         | 0                          | 126                      | 3.211  |
| 2040                               | 195                    | 694                       | 43                 | 2.173         | 0                          | 117                      | 3.222  |
| 2050                               | 249                    | 919                       | 57                 | 1.901         | 0                          | 108                      | 3.234  |
| <b>Südwestthüringen</b>            |                        |                           |                    |               |                            |                          |        |
| 2010                               | 27                     | 8                         | 0                  | 949           | 0                          | 291                      | 1.275  |
| 2020                               | 66                     | 183                       | 10                 | 996           | 26                         | 237                      | 1.518  |
| 2030                               | 105                    | 359                       | 20                 | 1.042         | 51                         | 185                      | 1.763  |
| 2040                               | 144                    | 534                       | 31                 | 1.088         | 51                         | 134                      | 1.983  |
| 2050                               | 184                    | 709                       | 41                 | 1.135         | 51                         | 82                       | 2.202  |
| <b>Thüringen</b>                   |                        |                           |                    |               |                            |                          |        |
| 2010                               | 100                    | 58                        | 0                  | 5.903         | 0                          | 584                      | 6.645  |
| 2020                               | 299                    | 812                       | 59                 | 6.072         | 51                         | 534                      | 7.827  |
| 2030                               | 499                    | 1.566                     | 117                | 6.241         | 103                        | 483                      | 9.009  |
| 2040                               | 698                    | 2.320                     | 176                | 6.410         | 128                        | 432                      | 10.164 |
| 2050                               | 897                    | 3.074                     | 234                | 6.579         | 154                        | 382                      | 11.321 |

<sup>1</sup>Gigawattstunden Endenergie pro Jahr.

**Tab. A3-4: Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) für die vier Planungsregionen und Thüringen im Referenzszenario.**

| Regenerativer<br>Stromertrag       | Sonne<br>(PV) | Wind  | Wasser | Bio-<br>masse | Tiefen-<br>geo-<br>thermie | MVA/<br>Deponie-<br>gas | Summe |
|------------------------------------|---------------|-------|--------|---------------|----------------------------|-------------------------|-------|
| GWh <sub>End</sub> /a <sup>1</sup> |               |       |        |               |                            |                         |       |
| <b>Mittelthüringen</b>             |               |       |        |               |                            |                         |       |
| 2010                               | 72            | 370   | 9      | 149           | 0                          | 101                     | 701   |
| 2020                               | 256           | 889   | 10     | 303           | 42                         | 99                      | 1.599 |
| 2030                               | 366           | 1.062 | 11     | 456           | 42                         | 103                     | 2.040 |
| 2040                               | 401           | 1.235 | 12     | 610           | 42                         | 106                     | 2.406 |
| 2050                               | 406           | 1.408 | 13     | 763           | 42                         | 110                     | 2.742 |
| <b>Nordthüringen</b>               |               |       |        |               |                            |                         |       |
| 2010                               | 57            | 488   | 2      | 255           | 0                          | 4                       | 806   |
| 2020                               | 195           | 1.162 | 2      | 369           | 0                          | 28                      | 1.755 |
| 2030                               | 266           | 1.385 | 2      | 484           | 0                          | 38                      | 2.175 |
| 2040                               | 287           | 1.607 | 2      | 599           | 0                          | 47                      | 2.542 |
| 2050                               | 291           | 1.830 | 2      | 714           | 0                          | 57                      | 2.894 |
| <b>Ostthüringen</b>                |               |       |        |               |                            |                         |       |
| 2010                               | 73            | 234   | 60     | 627           | 0                          | 109                     | 1.103 |
| 2020                               | 253           | 544   | 63     | 684           | 0                          | 101                     | 1.644 |
| 2030                               | 346           | 654   | 65     | 740           | 0                          | 99                      | 1.904 |
| 2040                               | 372           | 764   | 68     | 797           | 0                          | 97                      | 2.097 |
| 2050                               | 378           | 873   | 71     | 853           | 0                          | 95                      | 2.270 |
| <b>Südwestthüringen</b>            |               |       |        |               |                            |                         |       |
| 2010                               | 65            | 112   | 23     | 133           | 0                          | 208                     | 541   |
| 2020                               | 219           | 313   | 25     | 209           | 0                          | 172                     | 938   |
| 2030                               | 295           | 379   | 26     | 284           | 0                          | 139                     | 1.123 |
| 2040                               | 316           | 445   | 27     | 360           | 0                          | 105                     | 1.253 |
| 2050                               | 321           | 511   | 28     | 436           | 0                          | 72                      | 1.367 |
| <b>Thüringen</b>                   |               |       |        |               |                            |                         |       |
| 2010                               | 266           | 1.205 | 95     | 1.164         | 0                          | 421                     | 3.151 |
| 2020                               | 923           | 2.908 | 99     | 1.564         | 42                         | 400                     | 5.936 |
| 2030                               | 1.274         | 3.479 | 104    | 1.965         | 42                         | 378                     | 7.242 |
| 2040                               | 1.375         | 4.050 | 109    | 2.365         | 42                         | 356                     | 8.298 |
| 2050                               | 1.396         | 4.621 | 114    | 2.766         | 42                         | 334                     | 9.273 |

<sup>1</sup>Gigawattstunden Endenergie pro Jahr.



**Tab. A3-5: Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) für die vier Planungsregionen und Thüringen im ambitionierten Szenario A/B.**

| Regenerativer<br>Stromertrag       | Sonne<br>(PV) | Wind   | Wasser | Bio-<br>masse | Tiefen-<br>geo-<br>thermie | MVA/<br>Deponie-<br>gas | Summe  |
|------------------------------------|---------------|--------|--------|---------------|----------------------------|-------------------------|--------|
| GWh <sub>End</sub> /a <sup>1</sup> |               |        |        |               |                            |                         |        |
| <b>Mittelthüringen</b>             |               |        |        |               |                            |                         |        |
| 2010                               | 72            | 370    | 9      | 149           | 0                          | 101                     | 701    |
| 2020                               | 445           | 2.928  | 10     | 317           | 42                         | 99                      | 3.841  |
| 2030                               | 842           | 4.608  | 11     | 486           | 42                         | 103                     | 6.092  |
| 2040                               | 1.220         | 6.288  | 12     | 654           | 84                         | 106                     | 8.364  |
| 2050                               | 1.581         | 7.968  | 13     | 822           | 126                        | 110                     | 10.620 |
| <b>Nordthüringen</b>               |               |        |        |               |                            |                         |        |
| 2010                               | 57            | 488    | 2      | 255           | 0                          | 4                       | 806    |
| 2020                               | 267           | 2.379  | 2      | 385           | 0                          | 28                      | 3.060  |
| 2030                               | 490           | 3.532  | 2      | 515           | 0                          | 38                      | 4.577  |
| 2040                               | 705           | 4.685  | 2      | 645           | 0                          | 47                      | 6.084  |
| 2050                               | 914           | 5.839  | 2      | 775           | 0                          | 57                      | 7.587  |
| <b>Ostthüringen</b>                |               |        |        |               |                            |                         |        |
| 2010                               | 73            | 234    | 60     | 627           | 0                          | 109                     | 1.103  |
| 2020                               | 503           | 2.236  | 63     | 697           | 0                          | 101                     | 3.599  |
| 2030                               | 948           | 3.659  | 65     | 766           | 0                          | 99                      | 5.537  |
| 2040                               | 1.383         | 5.081  | 68     | 836           | 0                          | 97                      | 7.465  |
| 2050                               | 1.810         | 6.504  | 71     | 906           | 0                          | 95                      | 9.385  |
| <b>Südwestthüringen</b>            |               |        |        |               |                            |                         |        |
| 2010                               | 65            | 112    | 23     | 133           | 0                          | 208                     | 541    |
| 2020                               | 353           | 1.148  | 25     | 216           | 0                          | 172                     | 1.913  |
| 2030                               | 652           | 1.842  | 26     | 299           | 42                         | 139                     | 2.999  |
| 2040                               | 946           | 2.536  | 27     | 382           | 42                         | 105                     | 4.038  |
| 2050                               | 1.235         | 3.231  | 28     | 464           | 84                         | 72                      | 5.114  |
| <b>Thüringen</b>                   |               |        |        |               |                            |                         |        |
| 2010                               | 266           | 1.205  | 95     | 1.164         | 0                          | 421                     | 3.151  |
| 2020                               | 1.567         | 8.690  | 99     | 1.615         | 42                         | 400                     | 12.413 |
| 2030                               | 2.931         | 13.640 | 104    | 2.066         | 84                         | 378                     | 19.203 |
| 2040                               | 4.252         | 18.591 | 109    | 2.517         | 126                        | 356                     | 25.951 |
| 2050                               | 5.537         | 23.541 | 114    | 2.968         | 209                        | 334                     | 32.704 |

<sup>1</sup>Gigawattstunden Endenergie pro Jahr.

**Tab. A3-6: Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) für die vier Planungsregionen und Thüringen im Exzellenzscenario A/B.**

| Regenerativer<br>Stromertrag       | Sonne<br>(PV) | Wind   | Wasser | Bio-<br>masse | Tiefen-<br>geo-<br>thermie | MVA/<br>Deponie-<br>gas | Summe  |
|------------------------------------|---------------|--------|--------|---------------|----------------------------|-------------------------|--------|
| GWh <sub>End</sub> /a <sup>1</sup> |               |        |        |               |                            |                         |        |
| <b>Mittelthüringen</b>             |               |        |        |               |                            |                         |        |
| 2010                               | 72            | 370    | 9      | 149           | 0                          | 101                     | 701    |
| 2020                               | 747           | 4.083  | 10     | 351           | 42                         | 99                      | 5.333  |
| 2030                               | 1.446         | 6.620  | 11     | 553           | 84                         | 103                     | 8.817  |
| 2040                               | 2.125         | 9.156  | 12     | 755           | 126                        | 106                     | 12.280 |
| 2050                               | 2.788         | 11.692 | 13     | 957           | 167                        | 110                     | 15.728 |
| <b>Nordthüringen</b>               |               |        |        |               |                            |                         |        |
| 2010                               | 57            | 488    | 2      | 255           | 0                          | 4                       | 806    |
| 2020                               | 444           | 3.646  | 2      | 418           | 0                          | 28                      | 4.539  |
| 2030                               | 844           | 5.739  | 2      | 582           | 0                          | 38                      | 7.205  |
| 2040                               | 1.237         | 7.831  | 2      | 746           | 0                          | 47                      | 9.862  |
| 2050                               | 1.623         | 9.923  | 2      | 909           | 0                          | 57                      | 12.515 |
| <b>Ostthüringen</b>                |               |        |        |               |                            |                         |        |
| 2010                               | 73            | 234    | 60     | 627           | 0                          | 109                     | 1.103  |
| 2020                               | 858           | 3.864  | 63     | 727           | 0                          | 101                     | 5.612  |
| 2030                               | 1.657         | 6.493  | 65     | 826           | 0                          | 99                      | 9.140  |
| 2040                               | 2.447         | 9.121  | 68     | 926           | 0                          | 97                      | 12.660 |
| 2050                               | 3.229         | 11.750 | 71     | 1.026         | 0                          | 95                      | 16.170 |
| <b>Südwestthüringen</b>            |               |        |        |               |                            |                         |        |
| 2010                               | 65            | 112    | 23     | 133           | 0                          | 208                     | 541    |
| 2020                               | 596           | 3.121  | 25     | 231           | 42                         | 172                     | 4.186  |
| 2030                               | 1.138         | 5.278  | 26     | 328           | 84                         | 139                     | 6.992  |
| 2040                               | 1.675         | 7.434  | 27     | 426           | 84                         | 105                     | 9.751  |
| 2050                               | 2.207         | 9.590  | 28     | 523           | 84                         | 72                      | 12.505 |
| <b>Thüringen</b>                   |               |        |        |               |                            |                         |        |
| 2010                               | 266           | 1.205  | 95     | 1.164         | 0                          | 421                     | 3.151  |
| 2020                               | 2.643         | 14.715 | 99     | 1.727         | 84                         | 400                     | 19.668 |
| 2030                               | 5.083         | 24.129 | 104    | 2.290         | 167                        | 378                     | 32.151 |
| 2040                               | 7.481         | 33.542 | 109    | 2.853         | 209                        | 356                     | 44.550 |
| 2050                               | 9.842         | 42.956 | 114    | 3.416         | 251                        | 334                     | 56.913 |

<sup>1</sup>Gigawattstunden Endenergie pro Jahr.

**Tab. A3-7: Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) pro Einwohner für die Planungsregionen und Thüringen im Referenzszenario.**

| Regenerativer<br>Wärmeertrag          | Sonne<br>(Kollektoren) | Erd-<br>wärme<br>(Sonden) | Abwasser-<br>wärme | Bio-<br>masse | Tiefen-<br>geo-<br>thermie | MVA /<br>Deponie-<br>gas | Summe |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------|---------------|----------------------------|--------------------------|-------|
| kWh <sub>End</sub> /EW*a <sup>1</sup> |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| <b>Mittelthüringen</b>                |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| 2010                                  | 31                     | 27                        | 0                  | 1.517         | 0                          | 205                      | 1.772 |
| 2020                                  | 91                     | 130                       | 0                  | 1.733         | 40                         | 224                      | 2.201 |
| 2030                                  | 157                    | 248                       | 0                  | 1.963         | 41                         | 225                      | 2.625 |
| 2040                                  | 228                    | 377                       | 0                  | 2.209         | 43                         | 224                      | 3.071 |
| 2050                                  | 306                    | 518                       | 0                  | 2.480         | 45                         | 225                      | 3.532 |
| <b>Nordthüringen</b>                  |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| 2010                                  | 44                     | 32                        | 0                  | 2.429         | 0                          | 11                       | 2.508 |
| 2020                                  | 93                     | 162                       | 0                  | 3.018         | 0                          | 47                       | 3.362 |
| 2030                                  | 155                    | 338                       | 0                  | 3.767         | 0                          | 106                      | 4.499 |
| 2040                                  | 237                    | 567                       | 0                  | 4.737         | 0                          | 183                      | 5.962 |
| 2050                                  | 348                    | 881                       | 0                  | 6.071         | 0                          | 290                      | 7.891 |
| <b>Ostthüringen</b>                   |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| 2010                                  | 50                     | 28                        | 0                  | 4.254         | 0                          | 214                      | 4.534 |
| 2020                                  | 97                     | 144                       | 0                  | 4.185         | 0                          | 216                      | 4.682 |
| 2030                                  | 156                    | 298                       | 0                  | 4.060         | 0                          | 227                      | 4.878 |
| 2040                                  | 233                    | 498                       | 0                  | 3.911         | 0                          | 242                      | 5.129 |
| 2050                                  | 336                    | 767                       | 0                  | 3.704         | 0                          | 263                      | 5.384 |
| <b>Südwestthüringen</b>               |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| 2010                                  | 57                     | 17                        | 0                  | 2.020         | 0                          | 619                      | 2.700 |
| 2020                                  | 110                    | 86                        | 0                  | 2.268         | 0                          | 570                      | 3.089 |
| 2030                                  | 178                    | 180                       | 0                  | 2.590         | 0                          | 511                      | 3.639 |
| 2040                                  | 269                    | 306                       | 0                  | 3.012         | 0                          | 431                      | 4.343 |
| 2050                                  | 397                    | 484                       | 0                  | 3.611         | 0                          | 319                      | 5.242 |
| <b>Thüringen</b>                      |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| 2010                                  | 45                     | 26                        | 0                  | 2.640         | 0                          | 261                      | 2.961 |
| 2020                                  | 98                     | 131                       | 0                  | 2.814         | 13                         | 262                      | 3.342 |
| 2030                                  | 162                    | 264                       | 0                  | 3.015         | 14                         | 262                      | 3.811 |
| 2040                                  | 242                    | 429                       | 0                  | 3.259         | 16                         | 262                      | 4.371 |
| 2050                                  | 342                    | 637                       | 0                  | 3.569         | 18                         | 262                      | 5.016 |

<sup>1</sup>Kilowattstunden Endenergie pro Einwohner und Jahr.

**Tab. A3-8: Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) pro Einwohner für die Planungsregionen und Thüringen im ambitionierten Szenario A/B.**

| Regenerativer<br>Wärmeertrag          | Sonne<br>(Kollektoren) | Erd-<br>wärme<br>(Sonden) | Abwasser-<br>wärme | Bio-<br>masse | Tiefen-<br>geo-<br>thermie | MVA /<br>Deponie-<br>gas | Summe |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------|---------------|----------------------------|--------------------------|-------|
| kWh <sub>End</sub> /EW*a <sup>1</sup> |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| <b>Mittelthüringen</b>                |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| 2010                                  | 31                     | 27                        | 0                  | 1.517         | 0                          | 205                      | 1.780 |
| 2020                                  | 91                     | 213                       | 21                 | 1.800         | 40                         | 224                      | 2.389 |
| 2030                                  | 157                    | 416                       | 45                 | 2.104         | 41                         | 225                      | 2.987 |
| 2040                                  | 228                    | 636                       | 70                 | 2.430         | 86                         | 224                      | 3.673 |
| 2050                                  | 306                    | 877                       | 98                 | 2.788         | 135                        | 225                      | 4.428 |
| <b>Nordthüringen</b>                  |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| 2010                                  | 44                     | 32                        | 0                  | 2.429         | 0                          | 11                       | 2.516 |
| 2020                                  | 93                     | 231                       | 16                 | 3.150         | 0                          | 47                       | 3.536 |
| 2030                                  | 155                    | 484                       | 35                 | 4.067         | 0                          | 106                      | 4.848 |
| 2040                                  | 237                    | 815                       | 61                 | 5.258         | 0                          | 183                      | 6.554 |
| 2050                                  | 348                    | 1.269                     | 97                 | 6.893         | 0                          | 290                      | 8.896 |
| <b>Ostthüringen</b>                   |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| 2010                                  | 50                     | 28                        | 0                  | 4.254         | 0                          | 214                      | 4.546 |
| 2020                                  | 97                     | 227                       | 13                 | 4.252         | 0                          | 216                      | 4.805 |
| 2030                                  | 156                    | 477                       | 29                 | 4.212         | 0                          | 227                      | 5.101 |
| 2040                                  | 233                    | 803                       | 50                 | 4.172         | 0                          | 242                      | 5.499 |
| 2050                                  | 336                    | 1241                      | 78                 | 4.113         | 0                          | 263                      | 6.031 |
| <b>Südwestthüringen</b>               |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| 2010                                  | 57                     | 17                        | 0                  | 2.020         | 0                          | 619                      | 2.713 |
| 2020                                  | 110                    | 251                       | 14                 | 2.331         | 0                          | 570                      | 3.275 |
| 2030                                  | 178                    | 555                       | 31                 | 2.735         | 71                         | 511                      | 4.081 |
| 2040                                  | 269                    | 960                       | 55                 | 3.265         | 83                         | 431                      | 5.064 |
| 2050                                  | 397                    | 1.534                     | 88                 | 4.019         | 200                        | 319                      | 6.557 |
| <b>Thüringen</b>                      |                        |                           |                    |               |                            |                          |       |
| 2010                                  | 45                     | 26                        | 0                  | 2.640         | 0                          | 261                      | 2.972 |
| 2020                                  | 98                     | 231                       | 16                 | 2.891         | 13                         | 262                      | 3.511 |
| 2030                                  | 162                    | 479                       | 35                 | 3.186         | 28                         | 262                      | 4.153 |
| 2040                                  | 242                    | 785                       | 59                 | 3.545         | 47                         | 262                      | 4.939 |
| 2050                                  | 342                    | 1.171                     | 89                 | 4.001         | 88                         | 262                      | 5.952 |

<sup>1</sup>Kilowattstunden Endenergie pro Einwohner und Jahr.



**Tab. A3-9 Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) pro Einwohner für die Planungsregionen und Thüringen im Exzellenzszenario A/B.**

| Regenerativer<br>Wärmeertrag          | Sonne<br>(Kollektoren) | Erd-<br>wärme<br>(Sonden) | Abwasser-<br>wärme | Bio-<br>masse | Tiefen-<br>geo-<br>thermie | MVA /<br>Deponie-<br>gas | Summe  |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------|---------------|----------------------------|--------------------------|--------|
| kWh <sub>End</sub> /EW*a <sup>1</sup> |                        |                           |                    |               |                            |                          |        |
| <b>Mittelthüringen</b>                |                        |                           |                    |               |                            |                          |        |
| 2010                                  | 31                     | 27                        | 0                  | 1.517         | 0                          | 205                      | 1.780  |
| 2020                                  | 145                    | 367                       | 38                 | 1.879         | 40                         | 224                      | 2.693  |
| 2030                                  | 269                    | 737                       | 80                 | 2.269         | 83                         | 225                      | 3.662  |
| 2040                                  | 403                    | 1.138                     | 126                | 2.688         | 129                        | 224                      | 4.708  |
| 2050                                  | 550                    | 1.578                     | 176                | 3.148         | 180                        | 225                      | 5.857  |
| <b>Nordthüringen</b>                  |                        |                           |                    |               |                            |                          |        |
| 2010                                  | 44                     | 32                        | 0                  | 2.429         | 0                          | 11                       | 2.516  |
| 2020                                  | 138                    | 394                       | 28                 | 3.316         | 0                          | 46                       | 3.922  |
| 2030                                  | 257                    | 855                       | 64                 | 4.445         | 0                          | 105                      | 5.726  |
| 2040                                  | 413                    | 1.458                     | 110                | 5.911         | 0                          | 182                      | 8.075  |
| 2050                                  | 627                    | 2.285                     | 174                | 7.925         | 0                          | 288                      | 11.299 |
| <b>Ostthüringen</b>                   |                        |                           |                    |               |                            |                          |        |
| 2010                                  | 50                     | 28                        | 0                  | 4.254         | 0                          | 214                      | 4.546  |
| 2020                                  | 141                    | 390                       | 23                 | 4.335         | 0                          | 216                      | 5.106  |
| 2030                                  | 255                    | 845                       | 52                 | 4.400         | 0                          | 227                      | 5.780  |
| 2040                                  | 404                    | 1.437                     | 89                 | 4.498         | 0                          | 243                      | 6.671  |
| 2050                                  | 605                    | 2.235                     | 140                | 4.623         | 0                          | 264                      | 7.866  |
| <b>Südwestthüringen</b>               |                        |                           |                    |               |                            |                          |        |
| 2010                                  | 57                     | 17                        | 0                  | 2.020         | 0                          | 619                      | 2.713  |
| 2020                                  | 159                    | 440                       | 25                 | 2.393         | 62                         | 570                      | 3.648  |
| 2030                                  | 291                    | 990                       | 56                 | 2.876         | 142                        | 512                      | 4.866  |
| 2040                                  | 466                    | 1.724                     | 99                 | 3.513         | 166                        | 432                      | 6.400  |
| 2050                                  | 715                    | 2.761                     | 159                | 4.418         | 200                        | 320                      | 8.573  |
| <b>Thüringen</b>                      |                        |                           |                    |               |                            |                          |        |
| 2010                                  | 45                     | 26                        | 0                  | 2.640         | 0                          | 261                      | 2.972  |
| 2020                                  | 147                    | 399                       | 29                 | 2.983         | 25                         | 262                      | 3.845  |
| 2030                                  | 271                    | 850                       | 64                 | 3.388         | 56                         | 262                      | 4.891  |
| 2040                                  | 423                    | 1.405                     | 106                | 3.884         | 78                         | 262                      | 6.158  |
| 2050                                  | 615                    | 2.108                     | 160                | 4.512         | 106                        | 262                      | 7.763  |

<sup>1</sup>Kilowattstunden Endenergie pro Einwohner und Jahr.

**Tab. A3-10: Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) pro Einwohner für die vier Planungsregionen und Thüringen im Referenzszenario.**

| Regenerativer<br>Stromertrag          | Sonne<br>(PV) | Wind  | Wasser | Bio-<br>masse | Tiefen-<br>geo-<br>thermie | MVA/<br>Deponie-<br>gas | Summe  |
|---------------------------------------|---------------|-------|--------|---------------|----------------------------|-------------------------|--------|
| kWh <sub>End</sub> /EW*a <sup>1</sup> |               |       |        |               |                            |                         |        |
| <b>Mittelthüringen</b>                |               |       |        |               |                            |                         |        |
| 2010                                  | 106           | 546   | 14     | 220           | 0                          | 149                     | 1.034  |
| 2020                                  | 395           | 1.369 | 15     | 466           | 64                         | 153                     | 2.463  |
| 2030                                  | 589           | 1.707 | 17     | 734           | 67                         | 166                     | 3.280  |
| 2040                                  | 673           | 2.072 | 20     | 1.023         | 70                         | 178                     | 4.036  |
| 2050                                  | 714           | 2.473 | 22     | 1.341         | 74                         | 194                     | 4.818  |
| <b>Nordthüringen</b>                  |               |       |        |               |                            |                         |        |
| 2010                                  | 147           | 1.267 | 5      | 660           | 0                          | 11                      | 2.091  |
| 2020                                  | 566           | 3.380 | 6      | 1.075         | 0                          | 80                      | 5.107  |
| 2030                                  | 881           | 4.579 | 7      | 1.601         | 0                          | 126                     | 7.194  |
| 2040                                  | 1.095         | 6.139 | 8      | 2.288         | 0                          | 180                     | 9.710  |
| 2050                                  | 1.316         | 8.279 | 10     | 3.230         | 0                          | 258                     | 13.093 |
| <b>Ostthüringen</b>                   |               |       |        |               |                            |                         |        |
| 2010                                  | 105           | 333   | 86     | 893           | 0                          | 155                     | 1.570  |
| 2020                                  | 403           | 869   | 100    | 1.091         | 0                          | 161                     | 2.624  |
| 2030                                  | 623           | 1.177 | 118    | 1.332         | 0                          | 178                     | 3.428  |
| 2040                                  | 771           | 1.581 | 141    | 1.649         | 0                          | 200                     | 4.341  |
| 2050                                  | 919           | 2.123 | 172    | 2.075         | 0                          | 231                     | 5.520  |
| <b>Südwestthüringen</b>               |               |       |        |               |                            |                         |        |
| 2010                                  | 138           | 238   | 50     | 283           | 0                          | 442                     | 1.150  |
| 2020                                  | 527           | 753   | 59     | 502           | 0                          | 413                     | 2.254  |
| 2030                                  | 815           | 1.046 | 71     | 785           | 0                          | 383                     | 3.100  |
| 2040                                  | 1.019         | 1.436 | 87     | 1.162         | 0                          | 340                     | 4.044  |
| 2050                                  | 1.248         | 1.988 | 110    | 1.696         | 0                          | 280                     | 5.321  |
| <b>Thüringen</b>                      |               |       |        |               |                            |                         |        |
| 2010                                  | 119           | 539   | 42     | 520           | 0                          | 188                     | 1.409  |
| 2020                                  | 453           | 1.429 | 49     | 768           | 21                         | 196                     | 2.916  |
| 2030                                  | 691           | 1.889 | 57     | 1.067         | 23                         | 205                     | 3.931  |
| 2040                                  | 833           | 2.454 | 66     | 1.433         | 25                         | 216                     | 5.028  |
| 2050                                  | 957           | 3.169 | 78     | 1.897         | 29                         | 229                     | 6.359  |

<sup>1</sup>Kilowattstunden Endenergie pro Einwohner und Jahr.

**Tab. A3-11: Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) pro Einwohner für die vier Planungsregionen und Thüringen im ambitionierten Szenario A/B.**

| Regenerativer<br>Stromertrag          | Sonne<br>(PV) | Wind   | Wasser | Bio-<br>masse | Tiefen-<br>geo-<br>thermie | MVA/<br>Deponie-<br>gas | Summe  |
|---------------------------------------|---------------|--------|--------|---------------|----------------------------|-------------------------|--------|
| kWh <sub>End</sub> /EW*a <sup>1</sup> |               |        |        |               |                            |                         |        |
| <b>Mittelthüringen</b>                |               |        |        |               |                            |                         |        |
| 2010                                  | 106           | 546    | 14     | 220           | 0                          | 149                     | 1.034  |
| 2020                                  | 685           | 4.509  | 15     | 489           | 64                         | 153                     | 5.916  |
| 2030                                  | 1.355         | 7.410  | 17     | 781           | 67                         | 166                     | 9.797  |
| 2040                                  | 2.048         | 10.555 | 20     | 1.098         | 141                        | 178                     | 14.039 |
| 2050                                  | 2.778         | 13.999 | 22     | 1.445         | 221                        | 194                     | 18.658 |
| <b>Nordthüringen</b>                  |               |        |        |               |                            |                         |        |
| 2010                                  | 147           | 1.267  | 5      | 660           | 0                          | 11                      | 2.091  |
| 2020                                  | 777           | 6.921  | 6      | 1.119         | 0                          | 80                      | 8.903  |
| 2030                                  | 1.620         | 11.682 | 7      | 1.703         | 0                          | 126                     | 15.138 |
| 2040                                  | 2.693         | 17.895 | 8      | 2.463         | 0                          | 180                     | 23.240 |
| 2050                                  | 4.134         | 26.416 | 10     | 3.507         | 0                          | 258                     | 34.325 |
| <b>Ostthüringen</b>                   |               |        |        |               |                            |                         |        |
| 2010                                  | 105           | 333    | 86     | 893           | 0                          | 155                     | 1.570  |
| 2020                                  | 802           | 3.569  | 100    | 1.112         | 0                          | 161                     | 5.744  |
| 2030                                  | 1.706         | 6.586  | 118    | 1.380         | 0                          | 178                     | 9.967  |
| 2040                                  | 2.863         | 10.519 | 141    | 1.731         | 0                          | 200                     | 15.454 |
| 2050                                  | 4.402         | 15.818 | 172    | 2.203         | 0                          | 231                     | 22.826 |
| <b>Südwestthüringen</b>               |               |        |        |               |                            |                         |        |
| 2010                                  | 138           | 238    | 50     | 283           | 0                          | 442                     | 1.150  |
| 2020                                  | 848           | 2.759  | 59     | 519           | 0                          | 413                     | 4.598  |
| 2030                                  | 1.800         | 5.084  | 71     | 825           | 116                        | 383                     | 8.277  |
| 2040                                  | 3.053         | 8.186  | 87     | 1.232         | 135                        | 340                     | 13.033 |
| 2050                                  | 4.807         | 12.575 | 110    | 1.808         | 326                        | 280                     | 19.906 |
| <b>Thüringen</b>                      |               |        |        |               |                            |                         |        |
| 2010                                  | 119           | 539    | 42     | 520           | 0                          | 188                     | 1.409  |
| 2020                                  | 770           | 4.269  | 49     | 793           | 21                         | 196                     | 6.098  |
| 2030                                  | 1.591         | 7.405  | 57     | 1.121         | 45                         | 205                     | 10.425 |
| 2040                                  | 2.577         | 11.264 | 66     | 1.525         | 76                         | 216                     | 15.723 |
| 2050                                  | 3.797         | 16.143 | 78     | 2.035         | 144                        | 229                     | 22.426 |

<sup>1</sup>Kilowattstunden Endenergie pro Einwohner und Jahr.

**Tab. A3-12: Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) pro Einwohner für die vier Planungsregionen und Thüringen im Exzellenzscenario A/B.**

| Regenerativer<br>Stromertrag          | Sonne<br>(PV) | Wind   | Wasser | Bio-<br>masse | Tiefen-<br>geo-<br>thermie | MVA/<br>Deponie-<br>gas | Summe  |
|---------------------------------------|---------------|--------|--------|---------------|----------------------------|-------------------------|--------|
| kWh <sub>End</sub> /EW*a <sup>1</sup> |               |        |        |               |                            |                         |        |
| <b>Mittelthüringen</b>                |               |        |        |               |                            |                         |        |
| 2010                                  | 106           | 546    | 14     | 220           | 0                          | 149                     | 1.034  |
| 2020                                  | 1.150         | 6.289  | 15     | 541           | 64                         | 153                     | 8.213  |
| 2030                                  | 2.325         | 10.646 | 17     | 890           | 135                        | 166                     | 14.179 |
| 2040                                  | 3.567         | 15.368 | 20     | 1.268         | 211                        | 178                     | 20.612 |
| 2050                                  | 4.898         | 20.541 | 22     | 1.682         | 294                        | 194                     | 27.631 |
| <b>Nordthüringen</b>                  |               |        |        |               |                            |                         |        |
| 2010                                  | 147           | 1.267  | 5      | 660           | 0                          | 11                      | 2.091  |
| 2020                                  | 1.293         | 10.608 | 6      | 1.217         | 0                          | 80                      | 13.204 |
| 2030                                  | 2.793         | 18.980 | 7      | 1.924         | 0                          | 126                     | 23.830 |
| 2040                                  | 4.724         | 29.909 | 8      | 2.848         | 0                          | 180                     | 37.668 |
| 2050                                  | 7.342         | 44.895 | 10     | 4.114         | 0                          | 258                     | 56.618 |
| <b>Ostthüringen</b>                   |               |        |        |               |                            |                         |        |
| 2010                                  | 105           | 333    | 86     | 893           | 0                          | 155                     | 1.570  |
| 2020                                  | 1.369         | 6.167  | 100    | 1.160         | 0                          | 161                     | 8.957  |
| 2030                                  | 2.983         | 11.688 | 118    | 1.488         | 0                          | 178                     | 16.454 |
| 2040                                  | 5.066         | 18.882 | 141    | 1.917         | 0                          | 200                     | 26.206 |
| 2050                                  | 7.853         | 28.577 | 172    | 2.495         | 0                          | 231                     | 39.327 |
| <b>Südwestthüringen</b>               |               |        |        |               |                            |                         |        |
| 2010                                  | 138           | 238    | 50     | 283           | 0                          | 442                     | 1.150  |
| 2020                                  | 1.432         | 7.503  | 59     | 554           | 101                        | 413                     | 10.062 |
| 2030                                  | 3.141         | 14.567 | 71     | 906           | 231                        | 383                     | 19.299 |
| 2040                                  | 5.406         | 23.996 | 87     | 1.375         | 270                        | 340                     | 31.474 |
| 2050                                  | 8.591         | 37.329 | 110    | 2.038         | 326                        | 280                     | 48.674 |
| <b>Thüringen</b>                      |               |        |        |               |                            |                         |        |
| 2010                                  | 119           | 539    | 42     | 520           | 0                          | 188                     | 1.409  |
| 2020                                  | 1.299         | 7.229  | 49     | 848           | 41                         | 196                     | 9.662  |
| 2030                                  | 2.760         | 13.099 | 57     | 1.243         | 91                         | 205                     | 17.454 |
| 2040                                  | 4.533         | 20.323 | 66     | 1.729         | 127                        | 216                     | 26.993 |
| 2050                                  | 6.749         | 29.456 | 78     | 2.343         | 172                        | 229                     | 39.027 |

<sup>1</sup>Kilowattstunden Endenergie pro Einwohner und Jahr.



**Tab. A3-13: Biotreibstoff-Produktion (Endenergie) für die Planungsregionen und Thüringen in alle Szenarien.**

| Referenz                           |       | Ambitioniert | Exzellenz |
|------------------------------------|-------|--------------|-----------|
| GWh <sub>End</sub> /a <sup>1</sup> |       |              |           |
| Mittelthüringen                    |       |              |           |
| 2010                               | 232   | 232          | 232       |
| 2020                               | 281   | 281          | 302       |
| 2030                               | 330   | 330          | 373       |
| 2040                               | 379   | 379          | 443       |
| 2050                               | 428   | 428          | 514       |
| Nordthüringen                      |       |              |           |
| 2010                               | 224   | 224          | 224       |
| 2020                               | 275   | 275          | 297       |
| 2030                               | 326   | 326          | 369       |
| 2040                               | 377   | 377          | 442       |
| 2050                               | 429   | 429          | 514       |
| Ostthüringen                       |       |              |           |
| 2010                               | 202   | 202          | 202       |
| 2020                               | 246   | 246          | 265       |
| 2030                               | 291   | 291          | 328       |
| 2040                               | 335   | 335          | 392       |
| 2050                               | 379   | 379          | 455       |
| Südwestthüringen                   |       |              |           |
| 2010                               | 99    | 99           | 99        |
| 2020                               | 121   | 121          | 131       |
| 2030                               | 144   | 144          | 162       |
| 2040                               | 166   | 166          | 194       |
| 2050                               | 188   | 188          | 226       |
| Thüringen                          |       |              |           |
| 2010                               | 757   | 757          | 757       |
| 2020                               | 924   | 924          | 995       |
| 2030                               | 1.091 | 1.091        | 1.233     |
| 2040                               | 1.258 | 1.258        | 1.471     |
| 2050                               | 1.424 | 1.424        | 1.709     |

<sup>1</sup>Gigawattstunden Endenergie pro Jahr.

**Tab. A3-14: Biotreibstoff-Produktion (Endenergie) pro Einwohner für die Planungsregionen und Thüringen in allen Szenarien.**

|                  | Referenz                              | Ambitioniert | Exzellenz |
|------------------|---------------------------------------|--------------|-----------|
|                  | kWh <sub>End</sub> /EW*a <sup>1</sup> |              |           |
| Mittelthüringen  |                                       |              |           |
| 2010             | 342                                   | 342          | 342       |
| 2020             | 433                                   | 433          | 466       |
| 2030             | 531                                   | 531          | 600       |
| 2040             | 637                                   | 637          | 744       |
| 2050             | 753                                   | 753          | 903       |
| Nordthüringen    |                                       |              |           |
| 2010             | 582                                   | 582          | 582       |
| 2020             | 801                                   | 801          | 863       |
| 2030             | 1.080                                 | 1.080        | 1.221     |
| 2040             | 1.442                                 | 1.442        | 1.687     |
| 2050             | 1.939                                 | 1.939        | 2.327     |
| Ostthüringen     |                                       |              |           |
| 2010             | 287                                   | 287          | 287       |
| 2020             | 393                                   | 393          | 423       |
| 2030             | 523                                   | 523          | 591       |
| 2040             | 693                                   | 693          | 811       |
| 2050             | 923                                   | 923          | 1.107     |
| Südwestthüringen |                                       |              |           |
| 2010             | 211                                   | 211          | 211       |
| 2020             | 292                                   | 292          | 314       |
| 2030             | 396                                   | 396          | 448       |
| 2040             | 535                                   | 535          | 626       |
| 2050             | 732                                   | 732          | 879       |
| Thüringen        |                                       |              |           |
| 2010             | 339                                   | 339          | 339       |
| 2020             | 454                                   | 454          | 489       |
| 2030             | 592                                   | 592          | 669       |
| 2040             | 762                                   | 762          | 891       |
| 2050             | 977                                   | 977          | 1.172     |

<sup>1</sup>Kilowattstunde Endenergie pro Einwohner und Jahr.

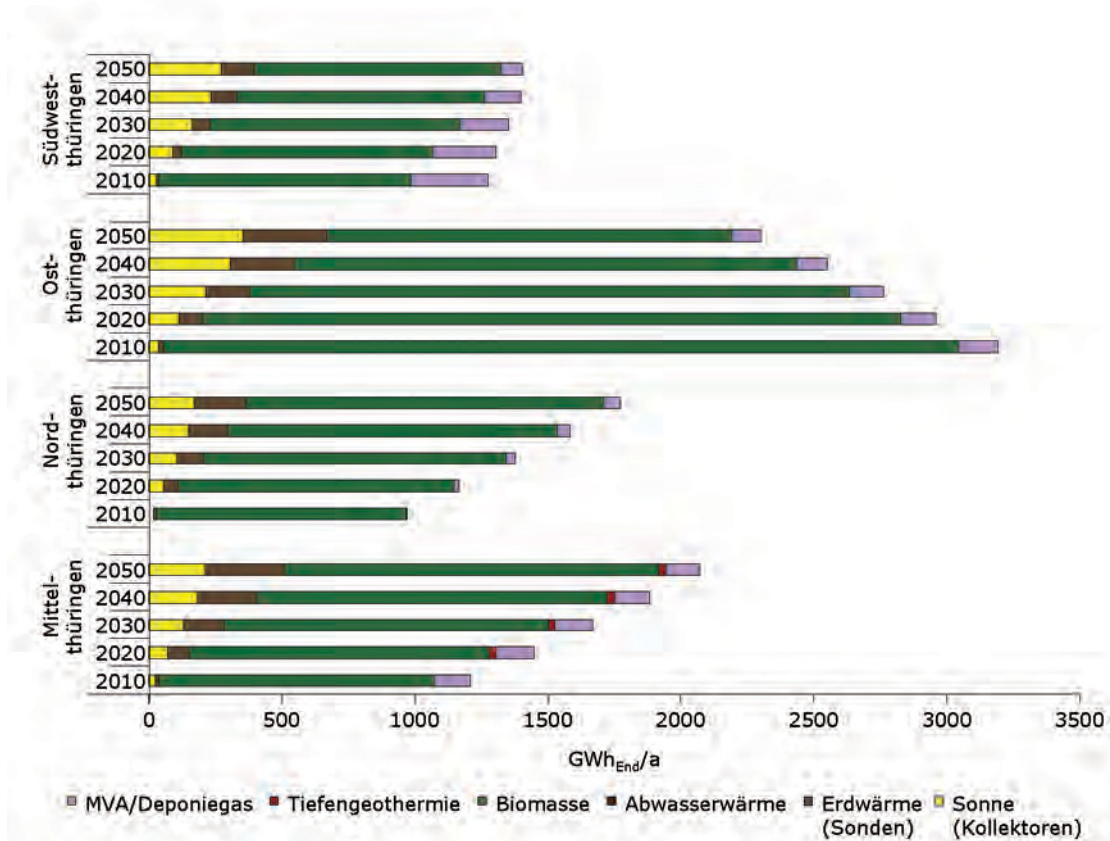


Abb. A3-1: Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) für die Planungsregionen und Thüringen im Referenzszenario.

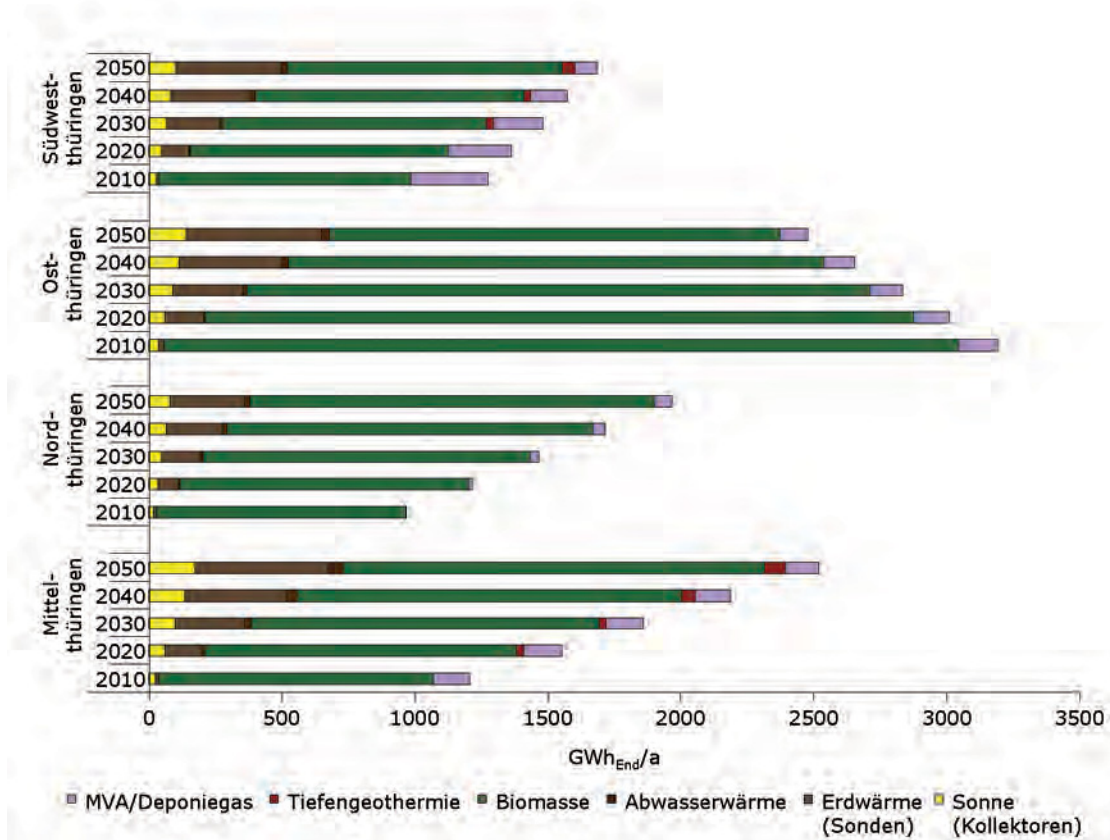


Abb. A3-2: Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) für die Planungsregionen und Thüringen im ambitionierten Szenario A/B.

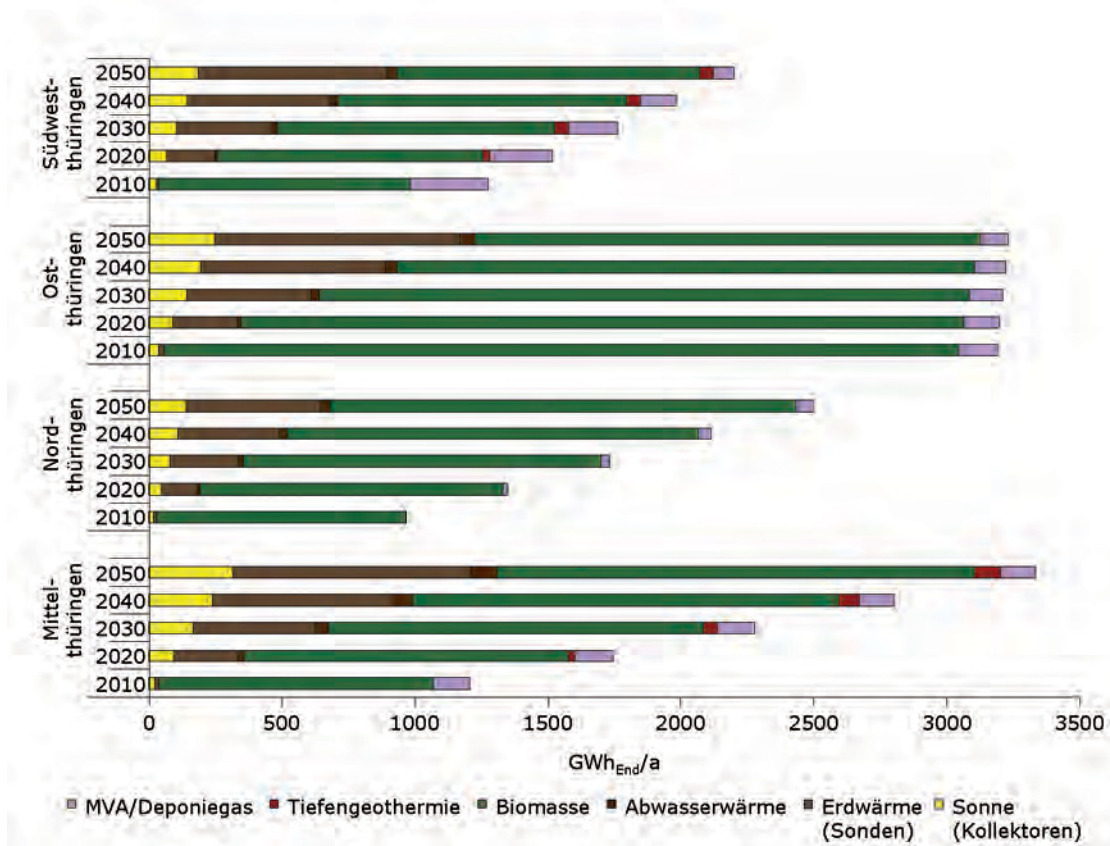


Abb. A3-3 Erneuerbare Wärmebereitstellung (Endenergie) für die Planungsregionen und Thüringen im Exzellenzszenario A/B.

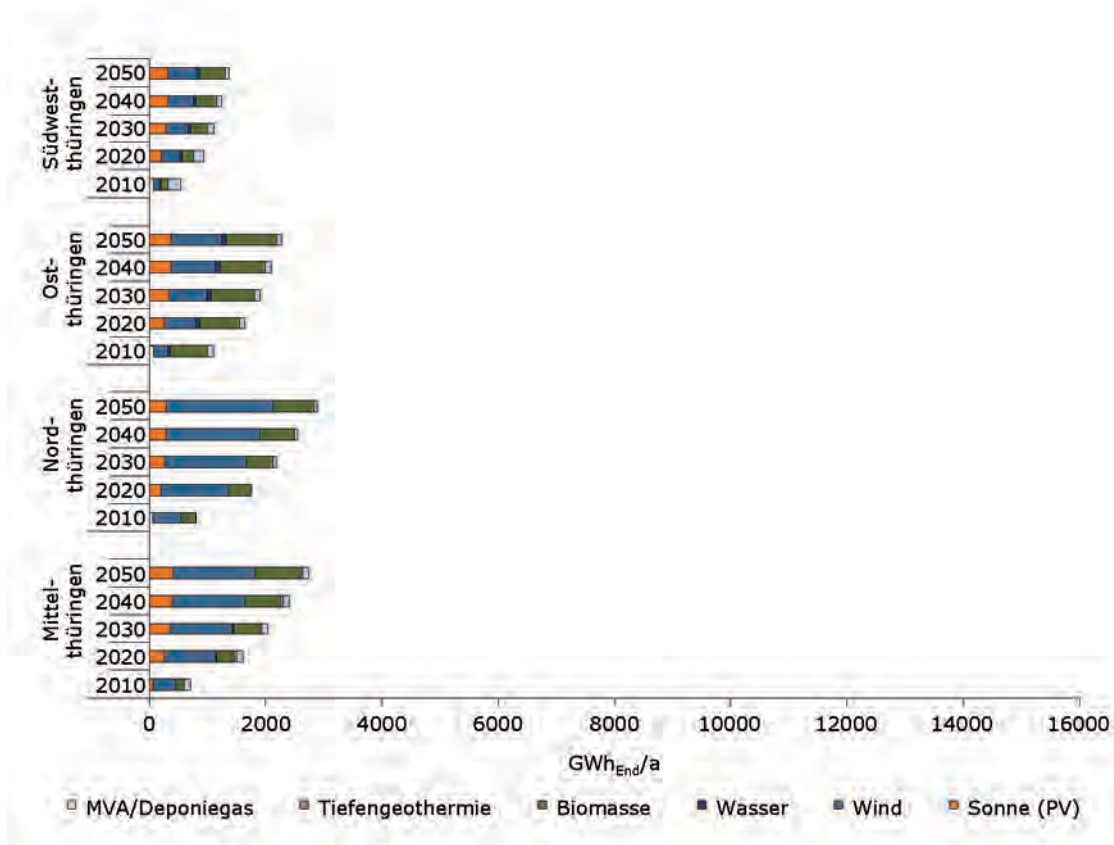


Abb. A3-4: Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) für die vier Planungsregionen und Thüringen im Referenzszenario.



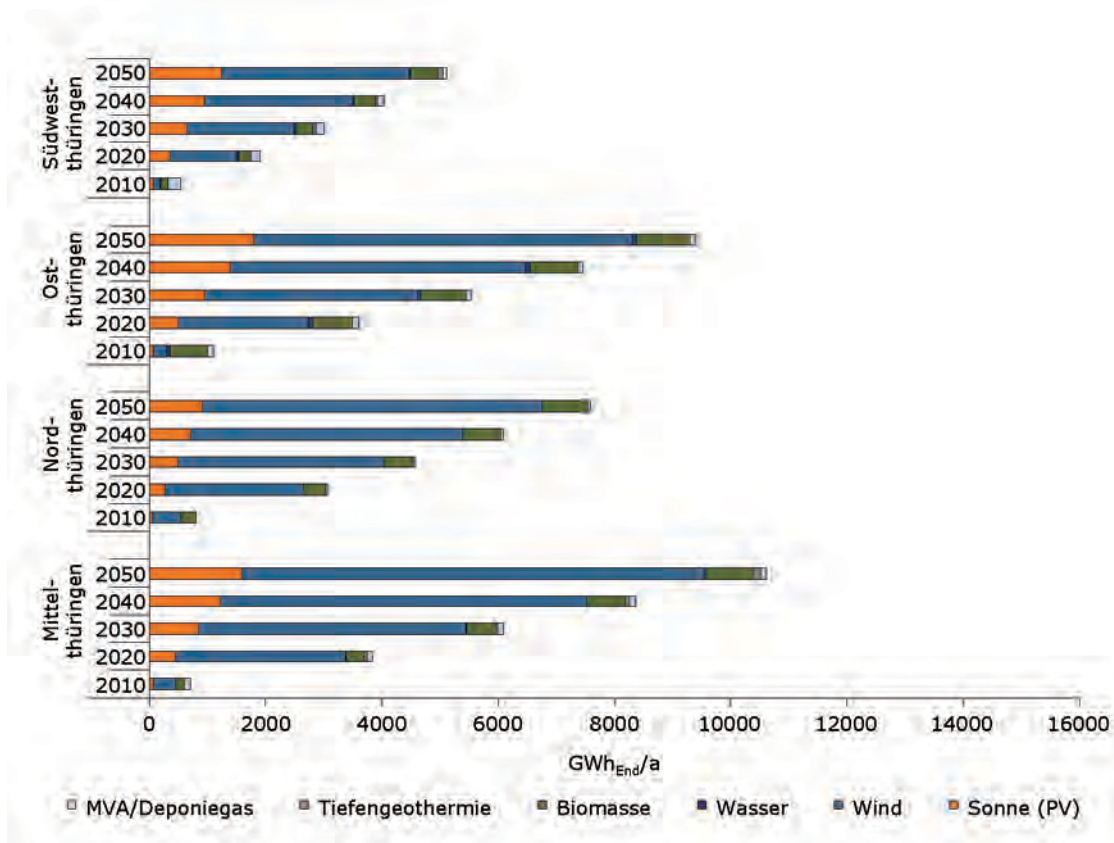


Abb. A3-5 Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) für die vier Planungsregionen und Thüringen im ambitionierten Szenario A/B.

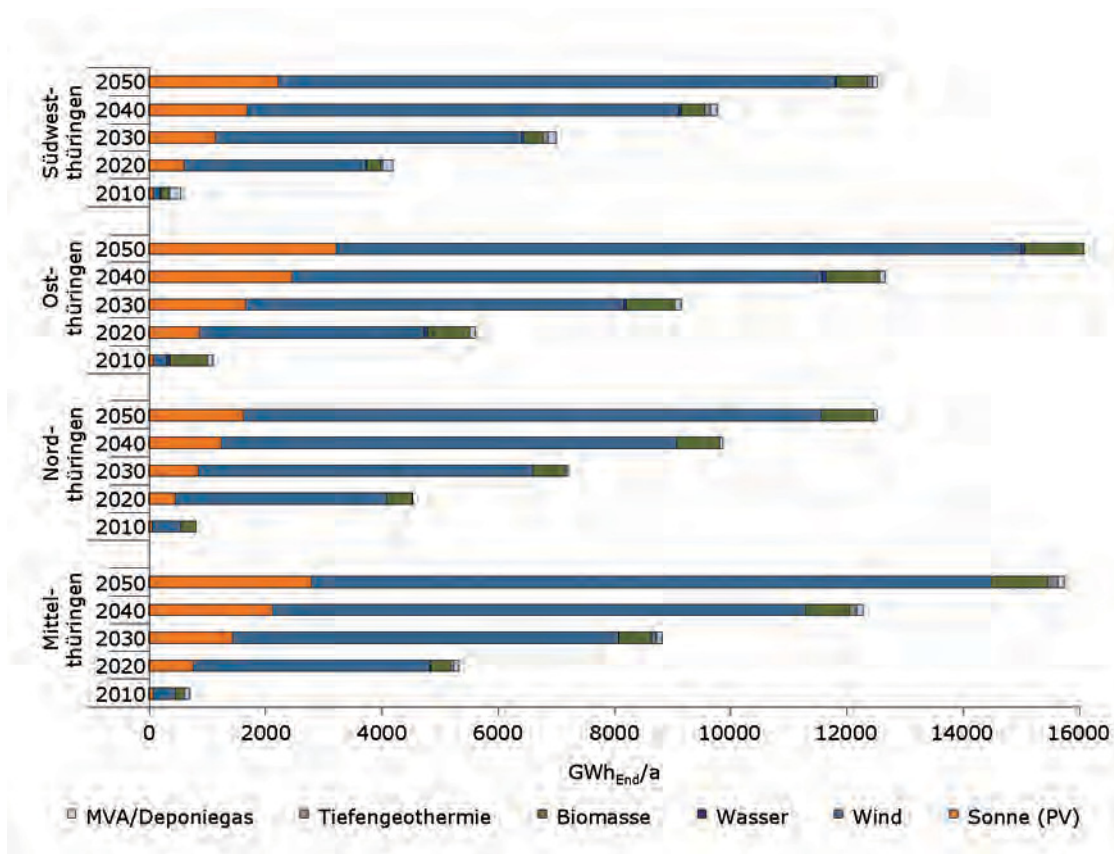


Abb. A3-6: Erneuerbare Stromerzeugung (Endenergie) für die vier Planungsregionen und Thüringen im Exzellenzszenario A/B.

## Bioenergie

Im Folgenden werden die einzelnen Biomassefraktionen, die Berechnungsgrundlagen und die szenarienspezifischen Annahmen näher erläutert.

### Grundlagen

Neben den Datengrundlagen beruhen Potenzialerhebungen auf einer Reihe von Annahmen hinsichtlich der Nutzungsoptionen und Alternativen. Wie schwierig mittel- und langfristige Prognosen sind, zeigte sich in den letzten Jahren eindrucksvoll: schwankende Rohstoffpreise für fossile Energieträger, aber auch schwankende Erzeugerpreise für land- und forstwirtschaftliche Produkte haben großen Einfluss auf die Entscheidungen von Investoren sowie Land- und Forstwirten hinsichtlich des Einsatzes von Bioenergie. Entsprechend sind zur Ableitung der technischen Biomassepotenziale gewisse Grundannahmen erforderlich, die eine aus heutiger Sicht realistische Bewertung der Ressource Bioenergie erlauben. Diese Annahmen stellen allerdings kein Fixum dar, sondern sind ggf. in der Zukunft im Licht veränderter gesetzlicher und/oder ökonomischer Rahmenbedingungen neu zu bewerten. Ferner können diese Annahmen im Rahmen der Entwicklung von Ausbauszenarien verändert werden. Dies erfolgt in der vorliegenden Studie in Form dreier unterschiedlicher Szenarienansätze (Referenzszenario, ambitioniertes Szenario und Exzellenzszenario), in denen jeweils verschiedene Bewertungsansätze für die Biomassepotenziale zugrunde gelegt werden.

Die Methoden der Energiegewinnung aus den unterschiedlichen Biomassefraktionen führen zu materialspezifischen Wirkungsgraden und damit zu spezifischen Sekundärenergiegehalten pro Nutzungseinheit. Zur Berechnung des potenziellen Energiebeitrags der verschiedenen Biomassefraktionen wurde jeweils von der optimalen energetischen Nutzung des Materials ausgegangen und durchschnittliche Energiegehalte verwendet. Im Folgenden sind die der Potenzialerhebung zugrunde liegenden Annahmen für die einzelnen Fraktionen näher erläutert. Dabei beschränkt sich die Darstellung aus Übersichtlichkeitsgründen zunächst auf das Referenzszenario. Die sich in den beiden anderen betrachteten Ausbauszenarien ergebenden Unterschiede werden anschließend erörtert.

### Holzartige Biomasse

Die Berechnungen basieren auf den durch Auswertung der topographischen Grundkarte Thüringens ermittelten Waldflächen. Die Potenzialberechnung fußt auf Annahmen zur durchschnittlichen Baumartenverteilung in Thüringen und des dabei zu erwartenden durchschnittlichen Holzzuwachses pro Jahr.

Für die Berechnung des Energiepotenzials aus **Waldholz** wurde für Thüringen eine Waldfläche von rund 547.000ha zugrunde gelegt. Unter der Berücksichtigung der Baumartenverteilung in Thüringen kann von einem jährlichen Holzzuwachs von ca.  $11,6\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{a}$  ausgegangen werden. Dieser Wert entspricht in etwa dem durchschnittlichen bundesweiten Holzzuwachs der Bundeswaldinventur (BWI2) des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2004) von rund  $11\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{a}$ .

Damit ergibt sich ein Zuwachs von rund  $2.920.000\text{Efm}/\text{a}$ . Berücksichtigt man den Derbholzanteil von knapp 75% und folgt der Argumentation der Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei aus dem Jahr 2004, nach der rund 25% des Holzzuwachses in Hanglagen für eine Nutzung nicht gewinnbar sind, so verbleibt ein energetisch nutzbarer Anteil von 12,5% oder rund  $365.000\text{Efm}/\text{a}$ .

Damit ergibt sich aus dieser Abschätzung ein ähnlicher Wert, wie er in der Studie der Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei mit rund  $350.000\text{Efm}$  ausgewiesen wurde.

Zur Ermittlung des energetischen Potenzials wurde ein durchschnittlicher Energiegehalt von  $10,175\text{GJ}/\text{fm}$  Waldholz zugrunde gelegt. Aus den errechneten  $365.000\text{Efm}$  ergibt sich ein Primärenergiegehalt von rund  $3.712\text{TJ}/\text{a}$ .

Die Menge an **Sägewerksnebenprodukten** errechnet sich anhand der in Thüringen jährlich eingeschlagenen und an die Sägewerke gelieferten Holzmengen von insgesamt ca. 2,2 Mio. m<sup>3</sup>. Von diesem Input der Sägewerke fallen 30% als Nebenprodukte an, die Hälfte davon wird bisher stofflich genutzt und steht als potenzieller Energieträger nicht zur Verfügung. Der Rest, also ca. 15% oder rund 345.000Efm der von den Sägewerken verarbeiteten Holzmengen, sind energetisch nutzbar und können mit dem Energiegehalt von Waldholz, also 10,175 GJ/fm, bewertet werden. Daraus ergibt sich ein jährlicher Beitrag von 3.510 TJ/a zum Bioenergiepotenzial Thüringens.

**Landschaftspflegeholz** unterliegt keiner sonstigen Nutzung und steht somit – theoretisch – komplett zur Verfügung, wobei das technische Potenzial zwischen 60% (Hecken, Feldgehölze etc.) und 90% (Obstbaumschnitt) des Aufkommens liegt. Die Menge an Landschaftspflegeholz, die in Thüringen zur Verfügung steht, wurde auf der Basis von Angaben des Thüringer Landesamts für Statistik (2010) berechnet. Als Energiegehalt wurden 12,15 GJ/t zugrunde gelegt, so dass diese Biomassefraktion rund 105TJ zum Bioenergiepotenzial beiträgt.

Zusammenfassend kann über die Nutzung der verschiedenen Fraktionen holziger Biomasse in Thüringen ein Energiepotenzial von rund 7.330 TJ/a mobilisiert werden. Für die Entwicklung der zu berechnenden Szenarien wird zugrunde gelegt, dass die Holzigen Biomassen zu Heizzwecken bzw. in Heizkraftwerken genutzt werden.

## Ackerbau

Der Anbau von **Energiepflanzen** stellt einen wichtigen Baustein im Versorgungskonzept mit Bioenergie dar.

Zur Bestimmung der energetisch nutzbaren Potenziale wird davon ausgegangen, dass die zentrale Aufgabe der Landwirtschaft auch in Zukunft die Sicherstellung der Nahrungs- und Futtermittelversorgung sein wird. Hierfür sind rund mindestens 55% der Ackerfläche Thüringens erforderlich (TLL 2010).

In dieser Studie wird im Referenzszenario angenommen, dass 20% der Ackerfläche mittelfristig für den Anbau von Energiepflanzen zur Verfügung stehen. Diese Festlegung erfolgt in Anlehnung an das Referenzszenario der Leitstudie „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse“ des Ökoinstituts (Fritsche 2004). Hauptsächlich ist mit einer Substitution von Getreideflächen zu rechnen. Sonderkulturen und Hackfrüchte bieten derzeit ausreichend hohe Deckungsbeiträge, eine Einschränkung des Anbaus ist somit nur durch sich abzeichnende Marktveränderungen im Bereich des Zuckerrübenanbaus zu erwarten.

Als technisch nutzbar gelten 90% der aufgewachsenen Biomasse, der Rest entfällt auf Ernteverluste.

Das Spektrum der Kulturen, die für den Energiepflanzenanbau infrage kommen, ist sehr vielfältig. Sowohl einjährige Pflanzen wie Raps, Getreide oder Mais als auch mehrjährige Kulturen wie Miscanthus oder schnell wachsende Hölzer sind geeignet. Entsprechend variieren auch die Wege zur Energiegewinnung. Für die vorliegende Studie wurde von einer Mischnutzung der Anbauflächen ausgegangen.

Ausgehend von der derzeitigen Nutzung wird unterstellt, dass auf einem Großteil dieser Fläche Substrate für die Biogasgewinnung angebaut werden. Um eine zu starke Betonung des Maisanbaus in der nahen Zukunft zu verhindern, wird ferner unterstellt, dass die Anbaufläche für Mais nicht mehr als 8% der gesamten Ackerfläche einnehmen soll. Entsprechend werden andere Substrate (Ganzpflanzensilage und spezielle Energiepflanzen wie Durchwachsende Silphie etc.) in das Modell übernommen. Aus dem erzeugten Biogas wird in KWK-Anlagen Strom und Wärme erzeugt.

Nach diesem Modell ergibt sich eine Maisanbaufläche in Thüringen von rund 31.500ha. Bei einem durchschnittlichen Methanertrag von 4.613m<sup>3</sup>/ha (KTBL 2006) trägt die Biogaserzeugung aus Mais mit rund 5.245TJ/a zum Bioenergiepotenzial bei.

Für weitere Biogassubstrate ergibt sich eine Anbaufläche von rund 15.200ha und – bei einem Methanertrag von durchschnittlich 3.130m<sup>3</sup>/ha (KTBL 2006) – ein Beitrag zum Biomassepotenzial von 1.700TJ/a.

Ferner können Energiepflanzen zur Erzeugung von Biokraftstoffen genutzt werden, wobei – ausgehend von dem derzeitigen Status quo – im Schwerpunkt Raps angebaut wird. Dies findet zurzeit auf rund 46.750ha statt, eine Ausweitung erscheint aus Aspekten der Fruchtfolgegestaltung kaum möglich. Legt man einen Rapsölertrag von ca. 1.150l/ha (KTBL 2006) zugrunde, so ergibt sich ein Primärenergiepotenzial von 2.670TJ/a für die Bereitstellung von Biokraftstoffen. Ergänzend findet derzeit ein Getreideanbau für die Ethanolproduktion auf einer Fläche von rund 18.950ha statt. Mit Blick auf die begrenzte Nachfrage nach Bioethanol wird auch diese Fläche in der Bewertung der Biomassepotenziale zunächst konstant gehalten. Legt man einen Ethanolertrag von 3.550 l/ha (KTBL 2006) zugrunde, so ergibt sich ein Primärenergiegehalt von 1.425TJ/a.

Bei der Gewinnung von Rapsöl und Bioethanol fallen in größerem Umfang Nebenprodukte an, die heute überwiegend als Futtermittel genutzt werden. Perspektivisch ist es aber auch denkbar, diese Nebenprodukte energetisch zu nutzen, etwa über die Erzeugung von Biogas. Legt man diesen Nutzungspfad zugrunde, so ergibt sich für die Verwertung des Rapspresskuchens (ca. 111.000 t/a) unter Berücksichtigung eines mittleren Biogasertrags von 575m<sup>3</sup>/t (KTBL 2005) ein Primärenergiepotenzial von 1.450TJ/a. Bei der energetischen Nutzung der Schlempe der Ethanolherzeugung (rund 200.000 t/a) ergibt sich ein Primärenergiepotenzial von 154TJ/a, wenn ein Biogasertrag von 6m<sup>3</sup> Biogas/t Schlempe (KTBL 2005) zugrunde gelegt wird.

Perspektivisch wird auch der Anbau von **schnellwachsenden Baumarten** an Bedeutung gewinnen, hier wird ein Anteil von 7,5% an der Fläche für Energiepflanzen unterstellt. Genutzt wird das Holz sowohl zur reinen Wärmeerzeugung als auch zur gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme. Mit dem gewählten Ansatz ergibt sich eine Fläche von rund 9.500ha. Unter Berücksichtigung eines durchschnittlichen Ertrags von 12t/ha\*a (KTBL 2006), trägt das Kurzumtriebsholz mit rund 1.180TJ/a zum Bioenergiepotenzial im Freistaat bei.

Ebenfalls dem Ackerbau zuzuordnen ist der bisher nicht anderweitig genutzte Anteil am **Strohertrag** der Getreideflächen. Für die Einstreu von Ställen werden 30% der Strohmenge benötigt, der Rest steht theoretisch für die Energiegewinnung, z. B. über die Verwertung als Brennstoff, zur Verfügung. Aus logistischen und pflanzenbaulichen Gründen ist zu erwarten, dass vom verbleibenden Rest ca. 60% auf dem Acker belassen werden, so dass 30% des Strohertrages in Thüringen in die Potenzialerhebung eingehen. Unter der Annahme, dass der Energiegewinn bei 13,2GJ/t liegt (KTBL 2006), ergibt sich ein Beitrag von 11.300TJ/a zum thüringischen Bioenergiepotenzial aus der Strohnutzung.

Schließlich verbleibt ein kleiner Anteil an so genanntem Verwurfgetreide, also Getreide, das für die Nahrungsmittelproduktion nicht geeignet ist. Hier bietet sich die Verbrennung dieser Getreidechargen an. Es ergibt sich bei einem Anfall von rund 40.000 t/a ein Primärenergiegehalt von rund 570TJ/a.

Die Landwirtschaft bestreitet somit unter der Voraussetzung einer effizienten Energienutzung der anfallenden Biomasse den größten Anteil am Bioenergiepotenzial Thüringens. Die energetische Nutzung des Biomasseaufwuchses für die Strom und Wärmeerzeugung ermöglicht einen Primärenergiebeitrag von rund 21.000TJ/a aus dem Anbau von Energiepflanzen und der Strohnutzung, zusätzlich werden rund 4.100TJ/a in Form von Biokraftstoffen (Rapsöl, Bioethanol) bereitgestellt.



## Grünland

Bundesweit ist damit zu rechnen, dass mittelfristig 20% vom Biomasseaufwuchs des Dauergrünlandes als theoretisches Potenzial für die Energienutzung zur Verfügung stehen werden. Dieser Anteil wird zurzeit nicht mehr zu Futterzwecken benötigt. Dabei handelt es sich sowohl um Mengen, die auf nicht mehr bewirtschafteten Flächen aufwachsen, als auch um Teilmengen (3. und 4. Schnitt) von intensiv genutzten Flächen. Ein Viertel dieser Menge ist aus Gründen der schlechten Erreichbarkeit oder zu kleinräumiger Strukturen technisch nicht nutzbar, so dass 15% des Grünlandaufwuchses tatsächlich zur Energiegewinnung in Anspruch genommen werden können.

In Thüringen stellt sich die Situation etwas anders dar, hier stehen mittelfristig unter Berücksichtigung der zurzeit bestehenden Restriktionen (Kulturlandschaftsprogramm) lediglich 10% der Grünlandflächen (ca. 19.500ha) für die energetische Nutzung zur Verfügung (TLL 2010).

Die energetische Verwertung von Grünschnitt erfolgt hauptsächlich als Co-Substrat bei der Biogasgewinnung. Dafür kann ein Methanertrag von 93m<sup>3</sup>/tFM zugrunde gelegt werden (KTBL 2006), so dass aus der energetischen Nutzung des überschüssigen Grünlandaufwuchses in Thüringen ca. 720TJ/a gewonnen werden können.

## Reststoffe

Voraussetzung für eine ökonomisch sinnvolle Nutzung von **Gülle und Festmist** zur Biogasproduktion ist eine Mindestgröße der Anlage, die auch durch den Zusammenschluss mehrerer landwirtschaftlicher Betriebe erreicht werden kann. Ferner ist die Art der Tierhaltung (Aufstallung, Freiland) zu berücksichtigen. Ausgehend von der Situation in Thüringen können rund zwei Drittel des Gülleanfalls von Rindern und Schweinen sowie des Festmists von Hühnern in Biogasanlagen genutzt werden. Bei der Haltung von Schafen und Pferden reduziert sich der nutzbare Festmist-Anteil auf maximal 45%.

Ausgehend von der Anzahl der Großvieheinheiten (GV) der in Thüringen gehaltenen Rinder, Schweine, Hühner, Schafe und Pferde wurde die anfallende Güllemenge und der daraus resultierende Biogasertrag berechnet. Dabei schwankt der Biogasertrag zwischen 300 l/kg oTS bei Schafen und Pferden und 500 l/kg oTS bei Hühnern (KTBL 2005, Munzert 1998, Kaltschmitt 2009). Mit einem Energiegehalt von 5,5 bis 6,5 kWh/m<sup>3</sup> trägt Biogas aus der Tierhaltung mit insgesamt rund 5.400TJ/a signifikant zum Bioenergiepotenzial Thüringens bei.

Der Abfallbilanz des Freistaats Thüringen (TMLU 2009), ist die Menge an **Bioabfall** zu entnehmen. Von diesem Aufkommen fällt etwa die Hälfte als getrennt gesammelte **organische Haushaltsabfälle** und die andere Hälfte als **Grünabfall** an. Analysen ermittelten den Holzanteil im **Grünabfall** mit durchschnittlich 30% (Kern 2003). Davon ist die Hälfte energetisch nutzbar, so dass 15% des Grünabfalls in die Potenzialerhebung eingehen. Der Energiegehalt dieser Biomassefraktion kann laut FNR (2005) mit 11,16GJ/t angesetzt werden, so dass der Holzanteil des Grünabfalls jährlich einen Beitrag von ca. 150TJ zum thüringischen Bioenergiepotenzial leistet.

Der strukturarme, nicht holzige Anteil am Grünabfall beträgt 70%, die Hälfte davon kann sinnvoll zur Energieproduktion verwendet werden. Der hohe Wassergehalt des Materials legt eine Nutzung in der Vergärung nahe, wobei ein Energiegehalt von 9GJ/tFS zugrunde gelegt werden kann. Der Energieertrag aus Grünabfall kann mit 70TJ jährlich veranschlagt werden.

Vom gesamten Bioabfallaufkommen in Thüringen, das sowohl Grünabfälle als auch biogene Haushaltsabfälle umfasst, sind 50% den über die Biotonne getrennt erfassten biogenen Haushaltsabfällen zuzurechnen. Als technisches Potenzial nutzbar ist ca. die Hälfte dieser getrennt gesammelten Bioabfallmenge, die andere Hälfte findet in der stofflichen Verwertung bereits sichere Absatzwege. Somit stehen 25% des gesamten Bioabfallaufkommens mittelfristig zur Energiegewinnung zur Verfügung. Für dieses Material kann ein Energiegehalt von 3,3GJ/t FS angenommen werden, so dass mit einem jährlichen Beitrag dieser Biomassefraktion zur Energieversorgung von 51TJ/a gerechnet werden kann.

Eine Sonderstellung kommt dem **Altholz** zu. Pro Einwohner und Jahr fallen bundesweit ca. 80kg Altholz an (Mantau 2003). Bezogen auf die Bevölkerung steht in Thüringen eine Menge von knapp 182.000 zur Verfügung.

Davon wird gut die Hälfte zur Produktion von Holzwerkstoffen oder Papier verwendet, die andere Hälfte steht mit einem Primärenergiegehalt von rund 1.320TJ/a für die energetische Nutzung zur Verfügung.

Zusätzlich ist als gesonderte Abfallfraktion die anfallende **Schwarzlauge** aus dem Zellstoffwerk Blankenstein zu berücksichtigen. Nach TLL (2010) stehen hier pro Jahr rund 6.400TJ zur Verfügung.

Schließlich lässt sich auch der verbleibende **Hausmüll** zum Teil energetisch nutzen. Ausgehend von bundesweiten Untersuchungen (BMU 2006), stehen rund 40% der anfallenden Restmüllmengen für eine energetische Verwertung zur Verfügung. Bei einem durchschnittlichen Energiegehalt von 9.400MJ/t ergibt sich ein potenzieller Beitrag von rund 1.328TJ/a.

Der insgesamt aus biogenen Reststoffen zu erzielende Energieertrag beläuft sich auf 13.390TJ/a, hinzu kommt der Beitrag aus der energetischen Nutzung des Hausmülls von 1.328TJ/a.

**Tab. A3-15: Rahmenbedingungen zur Ermittlung der Biomassepotenziale im Referenzszenario, im ambitionierten Szenario und im Exzellenzszenario.**

|   | Referenzszenario <sup>1</sup> | Ambitioniertes Szenario | Exzellenzszenario |
|---|-------------------------------|-------------------------|-------------------|
| <b>Ackerbau</b>   |                               |                         |                   |
| Anteil der Anbaufläche für Energiepflanzen in % der Ackerfläche                               | 20                            | 25                      | 30                |
| <b>Holz</b>   |                               |                         |                   |
| Zusätzlich aktivierbares Holzpotenzial in % für eine energetische Nutzung (Status quo = 100%) | 0                             | 10                      | 25                |
| <b>Grünland</b>   |                               |                         |                   |
| Energetisch nutzbarer Anteil der Grünlandfläche in % der Grünlandgesamtfläche                 | 10                            | 10                      | 10                |
| <b>Rest- und Abfallstoffe</b>   |                               |                         |                   |
| Energetisch nutzbare Anteile am nutzbaren Gesamtaufkommen                                     |                               |                         |                   |
| Stroh   | 40                            | 50                      | 60                |
| Wirtschaftsdünger   | 65                            | 65                      | 65                |

<sup>1</sup>Bewertungsgrundlage: Studie der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2010 (TLL 2010).

## Zusammenfassende Bewertung der Bioenergiepotenziale in Thüringen

Die Nutzung regenerativer Energiequellen in Thüringen ist besonders durch die Biomassenutzung geprägt (82,5% der eingesetzten erneuerbaren Energieträger). Nach Angaben der TLS/TMWAT wurden im Jahr 2009 in Thüringen 35.166TJ Endenergie durch Biomasse bereitgestellt. Dies entspricht 16,5% des Endenergieverbrauchs (TLS 2011). Davon entfielen 16,9% auf den Bruttostromverbrauch, 18,8% auf den Wärmeverbrauch und 6,8% auf den Kraftstoffverbrauch. Genutzt werden überwiegend feste Biomasse, auch Biogas und Biokraftstoffe.

Die energetische Verwertung fester Biomasse erfolgt gegenwärtig nahezu ausschließlich mit Holz, die großen Potenziale von Stroh und Kurzumtriebsholz werden nicht ausgeschöpft. In Heizwerken werden verschiedene holzartige Energieträger (Waldholz, Sägereholz, Industrierestholz, Scheitholz, Pellets, Holzhackschnitzel etc.) verbrannt.

**Tab. A3-16: Bioenergiepotenziale Thüringens bei veränderten Rahmenbedingungen.**

| Bioenergieträger                    | Primärenergiepotenzial in TJ/a |                         |                   |
|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------|
|                                     | Referenzszenario               | Ambitioniertes Szenario | Exzellenzszenario |
| Waldrestholz                        | 4.083                          | 4.493                   | 5.105             |
| Sägewerksnebenprodukte              | 3.510                          | 3.510                   | 3.510             |
| Landschaftspflegeholz               | 105                            | 105                     | 105               |
| Energiepflanzen Biogas              | 6.945                          | 8.681                   | 10.418            |
| Raps (Biokraftstoff)                | 2.670                          | 3.337                   | 4.005             |
| Getreide (Ethanol)                  | 1.425                          | 1.780                   | 2.137             |
| Nebenprodukte Kraftstoffherstellung | 1.606                          | 2.008                   | 2.409             |
| Kurzumtriebsholz                    | 1.180                          | 1.475                   | 1.770             |
| Stroh                               | 11.300                         | 13.220                  | 16.950            |
| Verwurfgetreide                     | 570                            | 570                     | 570               |
| Grünland (Biogas)                   | 720                            | 720                     | 720               |
| Gülle/Festmist                      | 5.400                          | 5.400                   | 5.400             |
| Holz im Grünabfall                  | 150                            | 150                     | 150               |
| Nicht-holzartiger Grünabfall        | 70                             | 70                      | 70                |
| Bioabfall                           | 54                             | 54                      | 54                |
| Altholz                             | 1.320                          | 1.320                   | 1.320             |
| Schwarzlauge                        | 6.400                          | 6.400                   | 6.400             |
| Hausmüll                            | 1.328                          | 1.328                   | 1.328             |
| SUMME                               | 48.836                         | 54.621                  | 62.421            |

Bei der Betrachtung der aus Wald- und Resthölzern gewonnenen Energiemengen ergibt sich in Thüringen eine Besonderheit. Aufgrund der im zurückliegenden Jahrzehnt errichteten vergleichsweise großen Kapazitäten im Bereich der Sägeindustrie und der Zellstoffherstellung wird derzeit in Thüringen weitaus mehr Holz verarbeitet, als in den thüringischen Wäldern eingeschlagen wird. Die dabei anfallenden Resthölzer bzw. die bei der Zellstoffherstellung anfallende Schwarzlauge werden aber in entsprechenden Heizwerken, Heizkraftwerken oder Biomassekraftwerken zu Energie umgewandelt und finden somit Eingang in die Thüringer Energiebilanz.

Wie groß die nach Thüringen importierten Holzmengen sind, ist nicht bekannt. Eine schriftliche Befragung bei den Betreibern von Holzheizkraftwerken zeigte bei einem Rücklauf von 60% der Fragebögen, dass an den einzelnen Standorten durchschnittlich ca. 45% Holz aus Thüringen eingesetzt wird, die übrigen Kontingente werden aus anderen Bundesländern zugekauft, wobei insbesondere die aktuellen Preise am Holz-Rohstoffmarkt ausschlaggebend sind.

Hieraus ergeben sich methodische Schwierigkeiten bei der Bewertung der endogenen Holzenergiepotenziale Thüringens, da derzeit in Thüringen deutlich mehr Energie aus Holz gewonnen wird, als bei der Betrachtung der im Freistaat vorhandenen Potenziale möglich wäre. Andererseits sollen im Rahmen der Potenzialbewertung ausschließlich die in Thüringen verfügbaren Ressourcen regenerativer Energiequellen betrachtet werden, wodurch „Energieimporte“ nach Thüringen ausgeschlossen werden. Somit ergibt sich bei der Betrachtung der Bioenergiepotenziale ein Bruch: während der derzeitige Nutzungsstand – in Übereinstimmung mit der Landesenergiebilanz – sämtliche energetisch genutzten Holzmengen erfasst, fußt die Betrachtung der zukünftigen Potenziale in den einzelnen Szenarien auf den tatsächlich in Thüringen verfügbaren Holzmengen. Im Ergebnis zeigt sich, dass es Landkreise und Gemeinden in Thüringen gibt, in denen heute deutlich mehr Biomasse energetisch genutzt wird, als nachhaltig aus eigenen Quellen verfügbar ist. Dies drückt sich in den Ergebnissen der Szenarienanalyse dieser Gebietskörperschaften durch einen entsprechenden Rückgang des zukünftigen Beitrags der Bioenergie aus.

Der derzeitige Beitrag der Bioenergienutzung in Thüringen zur Deckung des Primärenergiebedarfs beläuft sich auf rund 18,5%. Damit stellt die Bioenergie bereits heute die zentrale regenerative Energiequelle im Freistaat, mit einem im Vergleich zu anderen Bundesländern hohen Anteil an der gesamten Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen.

**Tab. A3-17: Biomassepotenziale und derzeit genutzter Anteil im Referenzszenario.**

| <b>Bioenergieträger</b>             | <b>Primärenergiepotenzial</b> | <b>Heute genutzter Anteil</b> |
|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                                     | <b>in TJ/a</b>                | <b>in %</b>                   |
| Waldrestholz                        | 4.083                         | 95                            |
| Sägewerksnebenprodukte              | 3.510                         | 80                            |
| Landschaftspflegeholz               | 105                           | 20                            |
| Energiepflanzen Biogas              | 6.945                         | 40                            |
| Raps (Biokraftstoff)                | 2.670                         | 100                           |
| Getreide (Ethanol)                  | 1.425                         | 100                           |
| Nebenprodukte Kraftstoffherstellung | 1.606                         | 0                             |
| Kurzumtriebsholz                    | 1.180                         | 1                             |
| Stroh                               | 11.300                        | 0,1                           |
| Verwurfgetreide                     | 570                           | 5                             |
| Grünland (Biogas)                   | 720                           | 18                            |
| Gülle/Festmist                      | 5.400                         | 23                            |
| Holz im Grünabfall                  | 150                           | 5                             |
| Nicht-holzartiger Grünabfall        | 70                            | 5                             |
| Bioabfall                           | 54                            | 10                            |
| <b>Bioenergieträger</b>             | <b>Primärenergiepotenzial</b> | <b>Heute genutzter Anteil</b> |
|                                     | <b>in TJ/a</b>                | <b>in %</b>                   |
| Altholz                             | 1.320                         | 90                            |
| Schwarzlauge                        | 6.400                         | 100                           |
| Hausmüll                            | 1328                          | k.A.                          |
| <b>SUMME</b>                        | <b>48.836</b>                 |                               |

Die Tabelle A3-17 fasst die verfügbaren Bioenergiepotenziale und den heute bereits genutzten Anteil auf Basis des Referenzpotenzials zusammen.

Aus dieser Aufstellung lässt sich erkennen, dass die größten Energiepotenziale in Thüringen im Bereich des Ackerbaus liegen. Insbesondere die sehr großen, heute noch so gut wie nicht genutzten Strohpotenziale stellen eine wichtige Energieressource in der Zukunft dar. Allerdings ist die energetische Nutzung von Stroh technisch nicht problemlos. Daher sind zu einer Aktivierung dieser Potenziale weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten nötig.

Insgesamt stellt die hier vorgenommene Bewertung der Bioenergiepotenziale eine konservative Bewertung dar, die die gegenwärtigen Restriktionen (Vorrang der Nahrungsmittelproduktion, Begrenzung des Energieholzanteils im Wald, Nutzungsbegrenzungen im Grünlandbereich) berücksichtigt.

Trotz dieser Begrenzungen konnte gezeigt werden, dass perspektivisch rund 23% des Primärenergiebedarfs im Freistaat aus Biomasse abzudecken sind. Damit ist das von der Thüringer Landesregierung im Bioenergieprogramm formulierte Ausbauziel mittelfristig erreichbar. Ein weiterer Ausbau der Bioenergienutzung würde allerdings veränderte Rahmenbedingungen, so etwa einen ausgeweiteten Anbau von Energiepflanzen, voraussetzen.



## Anhang A4

In den folgenden Tabellen sind die Selbstversorgungsgrade für alle Szenarien und Planungsregionen sowie für ganz Thüringen dargestellt.

**Tab. A4-1: Selbstversorgungsgrade im Referenzszenario für die Planungsregionen und Thüringen.**

| Regenerative Selbstversorgung <sup>1</sup> | Wärme | Strom | Treibstoffe<br>% | Endenergie gesamt |
|--|-------|-------|------------------|-------------------|
| <b>Mittelthüringen</b>                     |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 16    | 19    | 5                | 13                |
| 2020                                       | 20    | 41    | 6                | 21                |
| 2030                                       | 24    | 52    | 8                | 27                |
| 2040                                       | 30    | 61    | 10               | 34                |
| 2050                                       | 35    | 70    | 13               | 40                |
| <b>Nordthüringen</b>                       |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 21    | 36    | 8                | 21                |
| 2020                                       | 27    | 80    | 12               | 36                |
| 2030                                       | 36    | 102   | 17               | 49                |
| 2040                                       | 48    | 123   | 26               | 66                |
| 2050                                       | 61    | 147   | 33               | 82                |
| <b>Ostthüringen</b>                        |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 37    | 26    | 4                | 26                |
| 2020                                       | 38    | 39    | 6                | 30                |
| 2030                                       | 39    | 47    | 8                | 34                |
| 2040                                       | 41    | 53    | 11               | 38                |
| 2050                                       | 41    | 60    | 16               | 42                |
| <b>Südwestthüringen</b>                    |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 21    | 18    | 3                | 15                |
| 2020                                       | 23    | 32    | 4                | 21                |
| 2030                                       | 27    | 40    | 6                | 26                |
| 2040                                       | 33    | 47    | 10               | 32                |
| 2050                                       | 38    | 76    | 16               | 47                |
| <b>Thüringen</b>                           |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 24    | 24    | 5                | 19                |
| 2020                                       | 25    | 45    | 7                | 26                |
| 2030                                       | 28    | 56    | 9                | 33                |
| 2040                                       | 33    | 66    | 12               | 39                |
| 2050                                       | 38    | 76    | 16               | 47                |

<sup>1</sup>Verhältniss von regenerativem Energieertrag zu Energiebedarf in Prozent. 100% bedeutet Selbstversorgung.

**Tab. A4-2: Selbstversorgungsgrade im ambitionierten Szenario A (ohne Effizienzsteigerung) für die Planungsregionen und Thüringen.**

| Regenerative Selbstversorgung <sup>1</sup> | Wärme | Strom | Treibstoffe<br>% | Endenergie gesamt |
|--|-------|-------|------------------|-------------------|
| <b>Mittelthüringen</b>                     |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 16    | 19    | 5                | 13                |
| 2020                                       | 21    | 99    | 6                | 36                |
| 2030                                       | 27    | 154   | 8                | 56                |
| 2040                                       | 35    | 210   | 10               | 78                |
| 2050                                       | 43    | 265   | 13               | 102               |
| <b>Nordthüringen</b>                       |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 20    | 36    | 8                | 21                |
| 2020                                       | 28    | 139   | 12               | 52                |
| 2030                                       | 39    | 212   | 17               | 80                |
| 2040                                       | 52    | 292   | 26               | 120               |
| 2050                                       | 68    | 380   | 33               | 160               |
| <b>Ostthüringen</b>                        |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 37    | 26    | 4                | 26                |
| 2020                                       | 38    | 86    | 6                | 42                |
| 2030                                       | 40    | 134   | 8                | 59                |
| 2040                                       | 43    | 186   | 11               | 79                |
| 2050                                       | 44    | 243   | 16               | 103               |
| <b>Südwestthüringen</b>                    |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 21    | 18    | 3                | 15                |
| 2020                                       | 24    | 65    | 4                | 30                |
| 2030                                       | 30    | 105   | 6                | 45                |
| 2040                                       | 37    | 146   | 10               | 66                |
| 2050                                       | 45    | 194   | 12               | 88                |
| <b>Thüringen</b>                           |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 24    | 24    | 5                | 19                |
| 2020                                       | 28    | 94    | 7                | 39                |
| 2030                                       | 34    | 147   | 9                | 58                |
| 2040                                       | 41    | 202   | 12               | 82                |
| 2050                                       | 48    | 262   | 16               | 109               |

<sup>1</sup>Verhältniss von regenerativem Energieertrag zu Energiebedarf in Prozent. 100% bedeutet Selbstversorgung.

**Tab. A4-3: Selbstversorgungsgrade im ambitionierten Szenario B (mit Effizienzsteigerung) für die Planungsregionen und Thüringen.**

| Regenerative Selbstversorgung <sup>1</sup> | Wärme | Strom | Treibstoffe<br>% | Endenergie gesamt |
|--|-------|-------|------------------|-------------------|
| <b>Mittelthüringen</b>                     |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 16    | 19    | 5                | 13                |
| 2020                                       | 23    | 125   | 7                | 40                |
| 2030                                       | 32    | 237   | 9                | 69                |
| 2040                                       | 43    | 365   | 12               | 104               |
| 2050                                       | 55    | 462   | 16               | 143               |
| <b>Nordthüringen</b>                       |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 20    | 36    | 8                | 21                |
| 2020                                       | 31    | 174   | 12               | 57                |
| 2030                                       | 45    | 324   | 18               | 99                |
| 2040                                       | 65    | 508   | 26               | 156               |
| 2050                                       | 87    | 656   | 42               | 226               |
| <b>Ostthüringen</b>                        |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 37    | 26    | 4                | 26                |
| 2020                                       | 42    | 109   | 6                | 47                |
| 2030                                       | 47    | 211   | 9                | 73                |
| 2040                                       | 54    | 334   | 13               | 108               |
| 2050                                       | 58    | 427   | 20               | 146               |
| <b>Südwestthüringen</b>                    |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 21    | 18    | 3                | 15                |
| 2020                                       | 26    | 82    | 4                | 33                |
| 2030                                       | 35    | 161   | 7                | 56                |
| 2040                                       | 46    | 256   | 10               | 86                |
| 2050                                       | 58    | 335   | 16               | 124               |
| <b>Thüringen</b>                           |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 24    | 24    | 5                | 19                |
| 2020                                       | 31    | 118   | 7                | 44                |
| 2030                                       | 39    | 226   | 10               | 72                |
| 2040                                       | 51    | 355   | 15               | 110               |
| 2050                                       | 62    | 455   | 21               | 153               |

<sup>1</sup>Verhältniss von regenerativem Energieertrag zu Energiebedarf in Prozent. 100% bedeutet Selbstversorgung.

**Tab. A4-4: Selbstversorgungsgrade im Exzellenzszenario A (ohne Effizienzsteigerung) für die Planungsregionen und Thüringen.**

| Regenerative Selbstversorgung <sup>1</sup> | Wärme | Strom | Treibstoffe<br>% | Endenergie gesamt |
|--|-------|-------|------------------|-------------------|
| <b>Mittelthüringen</b>                     |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 16    | 19    | 5                | 13                |
| 2020                                       | 24    | 136   | 7                | 47                |
| 2030                                       | 33    | 220   | 9                | 77                |
| 2040                                       | 45    | 301   | 12               | 110               |
| 2050                                       | 57    | 380   | 15               | 146               |
| <b>Nordthüringen</b>                       |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 20    | 36    | 8                | 21                |
| 2020                                       | 31    | 204   | 13               | 70                |
| 2030                                       | 46    | 329   | 19               | 117               |
| 2040                                       | 64    | 461   | 31               | 181               |
| 2050                                       | 86    | 605   | 39               | 247               |
| <b>Ostthüringen</b>                        |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 37    | 26    | 4                | 26                |
| 2020                                       | 41    | 132   | 6                | 56                |
| 2030                                       | 46    | 218   | 9                | 85                |
| 2040                                       | 52    | 309   | 13               | 122               |
| 2050                                       | 58    | 406   | 19               | 165               |
| <b>Südwestthüringen</b>                    |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 21    | 18    | 3                | 15                |
| 2020                                       | 27    | 141   | 5                | 51                |
| 2030                                       | 36    | 240   | 7                | 87                |
| 2040                                       | 46    | 345   | 11               | 136               |
| 2050                                       | 58    | 459   | 15               | 186               |
| <b>Thüringen</b>                           |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 24    | 24    | 5                | 19                |
| 2020                                       | 31    | 147   | 7                | 55                |
| 2030                                       | 40    | 242   | 10               | 88                |
| 2040                                       | 51    | 339   | 14               | 129               |
| 2050                                       | 62    | 440   | 20               | 176               |

<sup>1</sup>Verhältniss von regenerativem Energieertrag zu Energiebedarf in Prozent. 100% bedeutet Selbstversorgung.



**Tab. A4-5: Selbstversorgungsgrade im Exzellenzszenario B (mit Effizienzsteigerung) für die Planungsregionen und Thüringen.**

| Regenerative Selbstversorgung <sup>1</sup> | Wärme | Strom | Treibstoffe<br>% | Endenergie gesamt |
|--|-------|-------|------------------|-------------------|
| <b>Mittelthüringen</b>                     |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 16    | 19    | 5                | 13                |
| 2020                                       | 26    | 171   | 7                | 52                |
| 2030                                       | 39    | 334   | 10               | 94                |
| 2040                                       | 55    | 515   | 14               | 147               |
| 2050                                       | 73    | 648   | 20               | 203               |
| <b>Nordthüringen</b>                       |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 20    | 36    | 8                | 21                |
| 2020                                       | 34    | 255   | 13               | 77                |
| 2030                                       | 53    | 497   | 21               | 144               |
| 2040                                       | 80    | 788   | 31               | 233               |
| 2050                                       | 111   | 1019  | 51               | 345               |
| <b>Ostthüringen</b>                        |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 37    | 26    | 4                | 26                |
| 2020                                       | 44    | 168   | 6                | 62                |
| 2030                                       | 53    | 340   | 10               | 106               |
| 2040                                       | 65    | 544   | 16               | 166               |
| 2050                                       | 75    | 696   | 24               | 233               |
| <b>Südwestthüringen</b>                    |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 21    | 18    | 3                | 15                |
| 2020                                       | 29    | 177   | 5                | 57                |
| 2030                                       | 41    | 365   | 8                | 108               |
| 2040                                       | 58    | 591   | 11               | 176               |
| 2050                                       | 75    | 770   | 19               | 261               |
| <b>Thüringen</b>                           |       |       |                  |                   |
| 2010                                       | 24    | 24    | 5                | 19                |
| 2020                                       | 34    | 186   | 8                | 61                |
| 2030                                       | 46    | 370   | 11               | 109               |
| 2040                                       | 63    | 584   | 17               | 174               |
| 2050                                       | 80    | 748   | 26               | 247               |

<sup>1</sup>Verhältniss von regenerativem Energieertrag zu Energiebedarf in Prozent. 100% bedeutet Selbstversorgung.

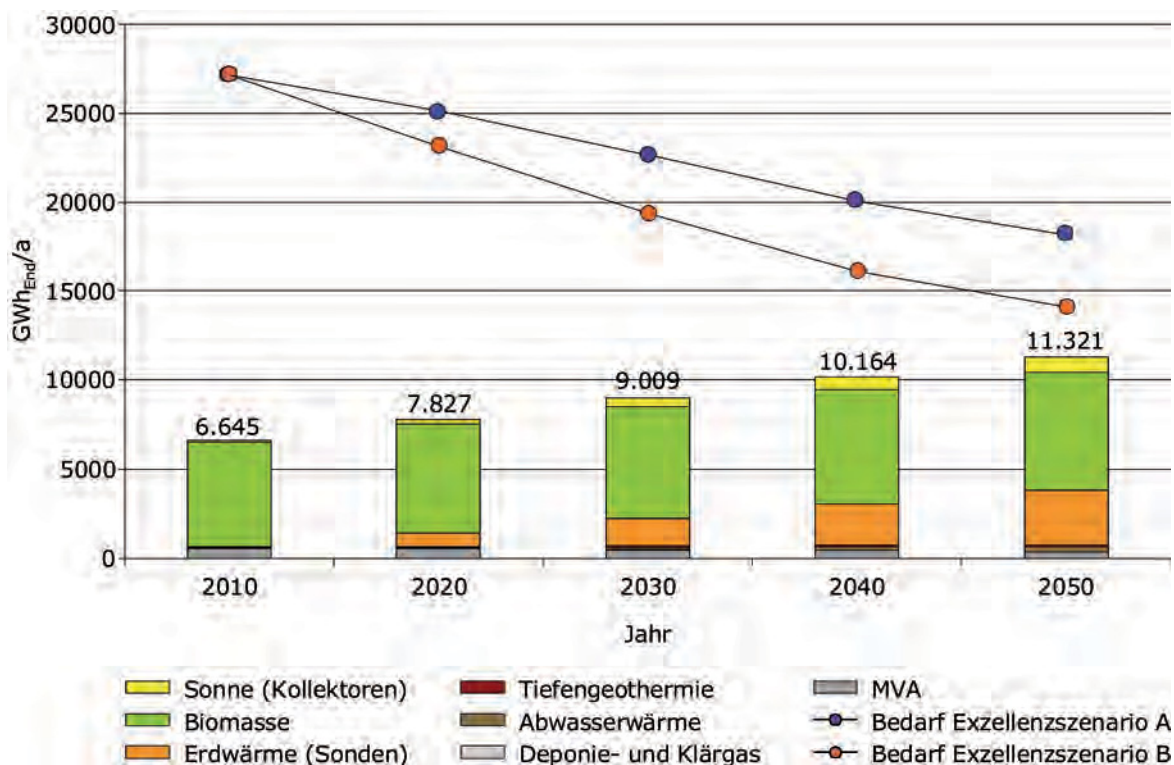


Abb.A4-1 Wärmebedarf und die regenerative Wärmebereitstellung in Thüringen im Exzellenzscenario A (keine Effizienzsteigerung) und B (mit Effizienzsteigerung) (eigene Darstellung).

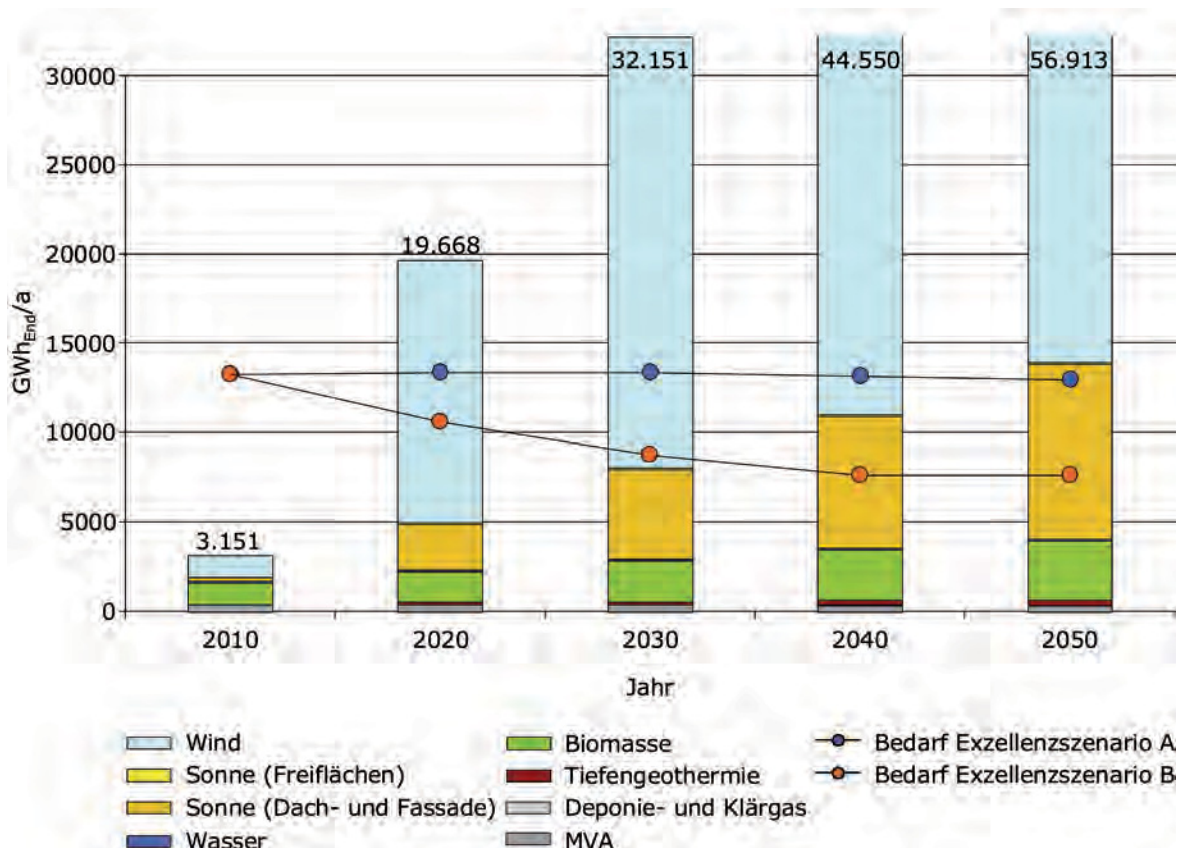


Abb.A4-2 Strombedarf und die regenerative Strombereitstellung in Thüringen im Exzellenzscenario A (keine Effizienzsteigerung) und B (mit Effizienzsteigerung) (eigene Darstellung).



## Literaturverzeichnis

- AEE-BEE (2009) Agentur für Erneuerbare Energien, Bundesverband Erneuerbare Energien, AEE-BEE, (2009): Branchenprognose: Stromversorgung 2020, Wege in eine moderne Energiewirtschaft, Berlin (2009)
- BAFU (2007) Graue Treibhausgas-Emissionen der Schweiz 1990-2004. Bern, Bundesamt für Umwelt (BAFU), 150
- Bardt, H., M. Demary & M. Voigtländer (2008) Immobilien und Klimaschutz: Potenziale und Hemmnisse. IW-Trends(2): 1-16.
- Bauer, N.; Ruprecht, A.; Heimerl, S. (2010) Ermittlung des Wasserkraftpotenzials an Wasserkraftanlagenstandorten mit einer Leistung über 1 MW in Deutschland, Artikel aus WasserWirtschaft, Ausgabe 9/2010, 2010
- BBergG (1980) Bundesberggesetz (BBergG). Bundesregierung, Bundesgesetzblatt Jg. 1980 T I Nr. 48, ausgegeben zu Bonn am 20. August 1980.
- BauNVO (1993) Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung BauNVO), 14
- BBR/BBSR & BMVBS (2009a) Handlungskatalog: Optionen erneuerbarer Energien im Stadtraum (Bearbeitung: Dieter D. Genske, Ariane Ruff, Thomas Joedecke, Lars Porsche / Redaktion: Ariane Ruff). Bonn / Berlin, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), 45
- BBR/BBSR & BMVBS (2009b) Nutzung städtischer ‚Freiflächen‘ für erneuerbare Energien (Bearbeitung: Dieter D. Genske, Ariane Ruff, Thomas Joedecke / Redaktion: Lars Porsche, Doris Lorenz). Bonn, Berlin, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), 140
- BBSR (2010) Zwischenergebnisse zum Projekt „Strategische Einbindung regenerativer Energien in regionale Energiekonzepte – Folgen und Handlungsempfehlungen aus Sicht der Raumordnung“. [http://www.bbsr.bund.de/cln\\_016/nn\\_21918/BBSR/DE/FP/MORO/Studien/EinbindungEnergiekonzepte/03\\_\\_\\_Ergebnisse\\_\\_Phase3.html](http://www.bbsr.bund.de/cln_016/nn_21918/BBSR/DE/FP/MORO/Studien/EinbindungEnergiekonzepte/03___Ergebnisse__Phase3.html).
- BDEW (2010) Erneuerbare Energien und das EEG in Zahlen 2010. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, Seite 13, Berlin 2010
- Benevolo, L. (2007) Die Geschichte der Stadt. Frankfurt/M, Campus, 1067 S.
- Biomasseverordnung (2011) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Siedlungsabfallentsorgung in Deutschland: Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse – BiomasseV, Beschluss des Deutschen Bundestags vom 30. Juni 2011, Berlin, 2011
- BMU (1997) Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. <http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/protodt.pdf>
- BMU (2006) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Siedlungsabfallentsorgung in Deutschland, Berlin, 2006
- BMU (2006a) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit(2006): Erneuerbare Energien: Arbeitsplatzeffekte, Berlin, 2006
- BMU (2007) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Hintergrundpapier:



Das Integrierte Energie-und Klimaprogramm der Bundesregierung, Berlin, Dezember 2007.  
<http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/40515.php>

BMU (2009) Leitszenario 2009: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbare Energien in Deutschland (Bearb. J. Nitsch, B. Wenzel). Berlin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU 106

BMU (2010) Leitstudie 2010: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global (Bearb. J. Nitsch, B. Wenzel, M. Sterner et al.) Berlin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU Berlin, DLR Stuttgart, IWES Kassel, IFNE Teltow, 2010

BMU (2010a) UN-Klimakonferenz in Kopenhagen – 7. bis 18. Dezember 2009. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit  
[http://www.bmu.de/klimaschutz/internationale\\_klimapolitik/15\\_klimakonferenz/doc/44133.php](http://www.bmu.de/klimaschutz/internationale_klimapolitik/15_klimakonferenz/doc/44133.php)

BMU (2010b) Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie. Stand: 04.08.2010. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. [www.bmu.de](http://www.bmu.de), abgerufen am 31.10.2011.

BMU (2011) Erneuerbare Energien in Zahlen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Berlin, 115 S.

BMU (2011) Internationaler Klimaschutz für die Zeit nach 2012. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.  
[http://www.bmu.de/klimaschutz/internationale\\_klimapolitik/klimaschutz\\_nach\\_2012/doc/45900.php](http://www.bmu.de/klimaschutz/internationale_klimapolitik/klimaschutz_nach_2012/doc/45900.php)

BMWi & BMU (2009) Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für die Jahre 2004 bis 2006 (B. Schlomann, E. Gruber, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung; B. Geiger, H. Kleeberger, U. Wehmhörner, Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik IfE der Technische Universität München; T. Herzog, D.-M. Konopka, GfK Marketing Services GmbH & Co. KG ). Berlin, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), 40

BMWi & BMU (2010), Erneuerbare Energien in Deutschland 2008, Aktueller Sachstand Mai 2009, Berlin 2009

BMWi & BMU (2010) Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. 28. September 2010. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.). Berlin 2010. [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energiekonzept\\_bundesregierung.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energiekonzept_bundesregierung.pdf).

BMVEL (2004) „ Bundeswaldinventur2 Alle Ergebnisse und Berichte“ Bundeswaldinventur des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft unter <http://www.bundeswaldinventur.de/> zuletzt abgerufen am 10.11.2011

BMVBS (2010) Angaben zu durchschnittlichen Sanierungsraten in Deutschland. Auskunft von MR Hans-Dieter Hegner auf schriftliche Anfrage. Februar 2010

BSW-Solar (2011), Bundesverband der Solarwirtschaft: Entwicklung des deutschen PV-Marktes 2009/2010, Seite 7, Berlin 2011

Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2004): Bundeswaldinventur des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BWI<sup>2</sup>)  
<http://www.bundeswaldinventur.de/>

Bundesnetzagentur (2011) EEG – Statistikbericht 2009, Berlin, 2011

BWP/DBU (2005) Heizen und Kühlen mit Abwasser: Ratgeber für Bauherren und Kommunen. Bundesverband WärmePumpe BWP, Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU, 33

BWE, NABU, BUND, BEE, 50HERTZ, BVMW, DGB, Meuselwitz GUSS, ThInK, LEG, TMWAT, Positionspapier „Potenziale der Windenergie in Thüringen nutzen“, März 2010,  
[http://www.thueringen.de/imperia/md/content/tmwta/aktuelles/positionspapier\\_windenergie.pdf](http://www.thueringen.de/imperia/md/content/tmwta/aktuelles/positionspapier_windenergie.pdf)

DENA (2006) Besser als ein Neubau: Hocheffizientes Sanieren leicht gemacht. Berlin, Deutsche Energie-Agentur DENA, auf CD

DENA (2010) dena-Netzstudie II – Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015-2020 mit Ausblick 2025. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Berlin, 2010.

DESTATIS (2008) Wohnungen im Osten immer noch kleiner als im Westen. Pressemitteilung Nr.089 des Statistischen Bundesamtes vom 03.03.2008. [www.destatis.de](http://www.destatis.de).

DIW (2010) Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (2010), Wochenbericht des DIW vom 25. November 2010, Berlin

Ecofys, RWTH-Aachen & FH-Köln (2004) Leitbilder und Potenziale eines solaren Städtebaus. Köln, Aachen, Köln, Ecofys GmbH Köln, RWTH Aachen, Fachhochschule Köln, 257

EEG (2009) Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG). Bundesregierung, Bundesgesetzblatt Jg. 2008 T I Nr. 49, ausgegeben zu Bonn am 31. Oktober 2008.

EEG (2012) Gesetzes zur Neuregelung des Rechtsrahmens für die Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (EEG 2012). Konsolidierte Fassung. Bundesregierung, Bundesgesetzblatt Jg. 2011 T I Nr. 42, ausgegeben zu Bonn am 04. August 2011.

EEWärmeG (2009) Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG). Bundesregierung, Bundesgesetzblatt Jg. 2008 Teil I Nr. 36, ausgegeben zu Bonn am 18. August 2008

empirica (2005) Wohnflächennachfrage in Deutschland (Studie im Auftrag der LBS Bundesgeschäftsstelle Berlin). Berlin,

EnEV (2009) Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung. Bundesregierung, Bundesgesetzblatt Jg. 2009 T. I Nr.23, ausgegeben zu Bonn 30. April 2009.

Europäische Wasserrahmenrichtlinie (2000) Richtlinie 2000/60/EG Des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Jg. 43 Nr.: L327/1, veröffentlicht am 22.12.2000, [www.eur-lex.europa.eu](http://www.eur-lex.europa.eu)

Eurosolar (2006) Eurosolar-Leitfaden: Erneuerung von Städten und Gemeinden durch Erneuerbare Energien. (Autor: Irm Pontenagel). [www.eurosolar.de](http://www.eurosolar.de). 7 S.

Everding, D., Ed. (2007) Solarer Städtebau: Vom Pilotprojekt zum planerischen Leitbild. Stuttgart, W. Kohlhammer.

Everding, D., ECOFYS, FH-Köln & RWTH-Aachen (2004) Leitbilder und Potenziale des solaren Städtebaus. Köln, Ecofys GmbH, FH-Köln (Institut für Regenerative Energien), RWTH Aachen (Lehrstuhl für Städtebau und Landesplanung), Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), 18

FEKA (2008). FEKA-Energiesysteme: Energie aus Abwasser. FEKA-Energiesysteme AG. Retrieved 03.08.2008,

from [www.feka.ch](http://www.feka.ch).

FEKA (2009). FEKA-Energiesysteme: Energie aus Abwasser. FEKA-Energiesysteme AG. Retrieved 03.08.2008, from [www.feka.ch](http://www.feka.ch).

FHN (2009) Detailstudie zu charakteristischen Erdwärmesondendichten in verschiedenen Stadträumen (unveröffentlicht)

FNR (2005) Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., (Hrsg.): Nachwachsende Rohstoffe: Leitfaden Bioenergie, Gülzow, 2005

Fritsche (2004) Fritsche, Uwe R. et al.: Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse, Darmstadt, Dezember 2004

Gasch (2010) Gasch, Robert; Twele Jochen: Windkraftanlagen – Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb. 6. Auflage, Vieweg + Teubner | GWV Fachverlag, Wiesbaden, 2010.

GeotIS (2011) Geothermisches Informationssystem für Deutschland, Geothermische Standorte. <http://www.geotis.de/vgs/templates/listing.php> letzter Zugriff: 12.09.2011

Graw, A. (2010) Abschätzung des zusätzlichen Kühlbedarfs für Haushalte und GHD. Osnabrück, Planungsbüro Graw, 2010

Hirschl (2010) Hirschl, B., A., Aretz, A. Pahl et al: Kommunale Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien, Schriftenreihe des IÖW 196/10, Institut für ökologische Wirtschaftsführung, Berlin, 2010

IGW (2005) Projektgemeinschaft Biorohstoffe: Grunddaten und Modelle zur Biomassenutzung und zum Biomassepotenzial In Hessen, Studie im Auftrag des Hessischen Ministerium für Umwelt, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz, Witzenhausen, 2005

IKEE (2008) CO<sub>2</sub>-Ausstoß von Privathaushalten (Informationsblatt der [www.unendlich-viel-energie.de](http://www.unendlich-viel-energie.de)). Berlin, Agentur für Erneuerbare Energien, Informationskampagne für Erneuerbare Energien, 1

IEKP (2007) Das Integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesrepublik. Meseberg 23./24.08.2007

IWU (1994) Empirische Überprüfung der Möglichkeiten und Kosten, im Gebäudebestand und bei Neubauten Energie einzusparen und die Energieeffizienz zu steigern (Endbericht für die Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestags). Darmstadt, Institut für Wohnen und Umwelt

IWU (2009) Klimadaten deutscher Wetterstationen. Aufbereitet nach Institut für Wohnen und Umwelt (IWU), Excel-Datei.

Kalberer, D. (2010) Fachauskunft zur Abwasserwärmerückgewinnung der FEKA-Energiesysteme AG. Bad Ragaz, Schweiz.

Kaltschmitt, M., W. Streicher & A. Wiese (2006) Erneuerbare Energien: Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. Berlin Heidelberg New York, Springer, 702

Kaltschmitt (2009) Kaltschmitt, Martin, Hans Hartmann, Hermann Hofbauer (Hrsg.): Energie aus Biomasse, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009

Kästner, H., Seidel, G. und Wiefel, H. (2003) Regionalgeologische Stellung und Gliederung. In Seidel, G. (Hrsg) Geologie von Thüringen. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 15-23.

Kern (2003) Kern, Michael, Raussen, Thomas, Turk, Thomas und Fricke, Klaus: Energiepotenzial für Bio- und Grünabfall. In K. Fricke et. al. (Hrsg.): Die Zukunft der Getrenntsammlung von Bioabfällen, Witzenhausen, 2003

- KWKG (2002) Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz). Bundesregierung, Bundesgesetzblatt Jg. 2002 Teil I Nr. 19, ausgegeben zu Bonn am 22. März 2002
- Krah, N.: Potentiale und Modellrechnung zur Nutzung erneuerbarer Energien im Landkreis Schmalkalden-Meiningen, Schriftenreihe der Fachhochschule Schmalkalden, Fachhochschule Schmalkalden, ,Schmalkalden 2001
- Krimmling, J.: Erneuerbare Energien, Einsatzmöglichkeiten – Technologien – Wirtschaftlichkeit, Rudolf Müller Verlag, Zittau 2009
- KTBL (2006) Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.) (2006): Energiepflanzen, Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus, Darmstadt, 2006
- KTBL (2005) Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.) (2005): Faustzahlen für die Landwirtschaft, 13. Auflage, Landwirtschaftsverlag Münster, 2005
- Lazar, R., Truhetz, H., Posch, A. (2006) Tauernwindpark – Energie der Zukunft. Berichte aus den Umweltwissenschaften 2006/07. Umweltwissenschaften der Karl-Franzens-Universität Graz, November 2006. [http://www.uni-graz.at/usw1www\\_tauernwind\\_4\\_endbericht.pdf](http://www.uni-graz.at/usw1www_tauernwind_4_endbericht.pdf)
- LEP (2004) Landesentwicklungsplan 2004. Thüringer Ministerium für Bau und Verkehr (Hrsg.). Erfurt 2004.
- Lehr (2011) Lehr, U.; C. Lutz, D. Edler et al: Kurz- und langfristige Auswirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Osnabrück, 2011
- Lieberknecht, C., Matschie, C. (2009) Koalitionsvereinbarung Starkes Thüringen: Innovativ, nachhaltig, sozial und weltoffen. 64 S.
- LR (2009) Thüringer Koalitionsvereinbarung zwischen CDU und SPD „Starkes Thüringen – innovativ, nachhaltig, sozial, weltoffen“. Erfurt, Oktober 2009.
- Mantau (2003) Mantau, Uwe; Sörgel, Carsten: Standorte der Holzwirtschaft – Sägeindustrie. Universität Hamburg, Ordinariat für Weltforstwirtschaft. Arbeitsbereich: Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft. Hamburg, 2003
- Matthes, F. C. & M. Cames (2000) Energiewende 2020: Der Weg in eine zukunftsfähige Energiewirtschaft. Berlin, Heinrich Böll Stiftung, 95
- Molly (2011) Molly, J.P.: Status der Windenergienutzung in Deutschland – Stand 31.12.2010, DEWI GmbH 2011
- Munzert (1998), Manfred, Heinrich Hüffmeier (Hrsg.) (1998): Die Landwirtschaft, Bd. 1, Pflanzliche Erzeugung, Landwirtschaftsverlag Münster, 1998
- Neff (2005) Neff, A., Thomschke, C., Welmert, J., Nelles, M., Kopka, A. (2005): Feuerstättenzählung für regenerative Brennstoffe, Fachhochschule Hildesheim / Holzminden / Göttingen & LIV für das Schornsteinfegerhandwerk Niedersachsen, Göttingen 2005
- Obernberger( 2009) Obernberger, I., G. Thek: Herstellung und Nutzung von Pellets, Schriftenreihe Thermische Biomassenutzung Band 5, Institut für Prozesstechnik der TU Graz, Graz, 2009
- Pelzeter, A. (2005) Ursache und Wirkung: Beeinflussung der Lebenszykluskosten eines Gebäudes durch seine Gestaltung. Facility Management(5): 37-40.



Photon (2011) Photon – Das Solarstrom Magazin: PV-Bestand in Deutschland, Ausgabe 1/2011

Prognos & Öko-Institut (2009) Modell Deutschland, Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken (Bearbeiter A. Kirchner, F.C. Matthes et al.). Eine Studie im Auftrag des WWF Deutschland. Basel/Freiburg, Prognos AG, Ökoinstitut, 495

Quaschnig, V. (2009) Regenerative Energiesysteme. München, Hanser, 397

RL 2009/28/EG Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG. Amtsblatt der Europäischen Union Jg. 52 Nr.: L140/16, veröffentlicht am 05.06.2009, [www.eur-lex.europa.eu](http://www.eur-lex.europa.eu)

RL 2009/29/EG Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.April 2009 zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG zwecks Verbesserung und Ausweitung des Gemeinschaftssystems für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten. Amtsblatt der Europäischen Union Jg. 52 Nr.: L140/63, veröffentlicht am 05.06.2009, [www.eur-lex.europa.eu](http://www.eur-lex.europa.eu)

RP NT (2010) Fortschreibung des Regionalen Raumordnungsplanes vorliegend als Genehmigungsvorlage des Regionalplanes Thüringen vom 16.06.2010. Sondershausen 2010.

Schabbach, T. (2009) Expertengespräch zu Erdwärmesonden (nicht veröffentlicht)

Schramm (2010) Schramm, Mario, Betriebsleiter Biomassekraftwerk Bischofferode, persönliche Mitteilung, November 2010.

Stadt Gelsenkirchen (2008). Solarstadt Gelsenkirchen. Stadt Gelsenkirchen. Retrieved 31.07.2008, from [www.solarstadt-gelsenkirchen.de](http://www.solarstadt-gelsenkirchen.de).

Sterner, M. & M. Specht (2010) Erneuerbares Methan. Solarzeitalter(1): 51-58.

Struck, G. (2008) in Kleine Anfrage Nr. 2281 an den Thüringer Landtag – Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Thüringen(2008)

Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei (2004): Bewertung des Rohstoffpotenzials für die energetische Nutzung im Gesamtwald Thüringens, 2004

ThürWG (2009) Thüringer Wassergesetz (ThürWG). Gesetz- und Verordnungsblatt für den Freistaat Thüringen, Nr. 11, Seite 648. Ausgegeben zu Erfurt, den 28.August 2009.

TLL (2010) Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft ( Hrsg.): Regionale Biomassepotenziale zur energetischen Nutzung im Freistaat Thüringen, Jena, 2010

TLS (2009a) Energiebilanz Thüringen 2007. Erfurt, Thüringer Landesamt für Statistik TLS, 1

TLS (2009b) Thüringer Landesamt für Statistik: Umweltökonomische Gesamtrechnungen – Basisdaten und ausgewählte Ergebnisse für Thüringen, Ausgabe 2009, Erfurt, 2009

TLS (2010a) Bevölkerungsentwicklung bis 2010. Thüringer Landesamt für Statistik. 11.11.2010.

TLS (2011) Thüringer Landesamt für Statistik: Energiebilanz Thüringen 2008, Erfurt, 2011

TLS (2011a) Thüringer Landesamt für Statistik: Energiebilanz Thüringen 2009, Erfurt, 2011

TLUG (2011) Umwelt regional. Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie. Jena 2011.

[http://www.tlug-jena.de/uw\\_raum/umweltregional/index.html](http://www.tlug-jena.de/uw_raum/umweltregional/index.html)

TMLU (2009) Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt: Abfallbilanz 2008, Erfurt, 2009

TMLFUN (2010) Forstbericht 2010. Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz, Erfurt, 96S.

TMWAT (2005) Energiedaten Thüringen 2005. Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Technologie und Arbeit. Erfurt, 34 S

TMWAT (2010) Energie- und Klimastrategie Thüringen 2015. Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Technologie und Arbeit. Erfurt 2010. <http://www.thueringen.de/de/tmwat/energie/energiepolitik>.

TMWAT (2010a) Informationsbroschüre Thüringer Energie- und Greentech-Agentur (ThEGA). Eckpunkte, Organisation und weitere Zeitplanung). Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Technologie und Arbeit. Erfurt, 2010. 20 S.

TMWAT (2011) Neue Energie für Thüringen – Eckpunkte der Landesregierung. Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie. Erfurt, 2011. <http://www.thueringen.de/de/publikationen/pic/pubdownload1217.pdf>

TMWAT (2011a) WIN Wachstum – Innovation – Nachhaltigkeit: Trendatlas Thüringen 2020. Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie (TMWAT). Hoffmann & Campe Verlag GmbH. Hamburg

UBA (2008a) Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2006 (Informationsblatt). Dessau, Umweltbundesamt UBA,

UBA (2008b) Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland. Dessau, Umweltbundesamt UBA,

UBA (2009a) Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger (bearbeitet von M. Memmler, E. Mohrbach, S. Schneider, M. Dreher, R. Herbener). Dessau / Berlin, Umweltbundesamt UBA, 69

UBA (2009b) Politiksznarien für den Klimaschutz V – auf dem Weg zum Strukturwandel. Dessau, Umweltbundesamt, 284

Vetter (2011) Vetter, Armin: persönliche Mitteilung

Wesselak, V. & T. Schabbach (2009) Regenerative Energietechnik. Berlin, Heidelberg, New York, Springer, 527

WHG (2009) Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG). Bundesregierung Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009, Teil 1 Nr 51 S. 2585. Ausgegeben zu Bonn am 06.August 2009

WärmeschutzV (1994) Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV). Bundesregierung, Bundesgesetzblatt Jg. 1994, Teil I Nr. 55. Ausgegeben zu Bonn am 24.August 1994

Winkelmann, U. (2010) „Manche pendeln weit“ – Berufspendler im Bundesländervergleich. In: Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 04/2010. S. 40-43.

## **Regelwerke**

VDI 6002 Solare Trinkwassererwärmung (Blatt 1). Verein Deutscher Ingenieure (VDI), Düsseldorf, September 2004

VDI 2067 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen Grundlagen und Kostenberechnung (Blatt 1).  
Verein Deutscher Ingenieure (VDI), Düsseldorf, September

VDI 3807 Energieverbrauchswerte für Gebäude. Blatt 2, Heizenergie- und Stromverbrauchswerte (Juni1998)

VDI 4640: Thermische Nutzung des Untergrundes, Blatt 2 (September 2001)